



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KALLE TIMOLA
ENERGIATEHOKKAAN KORJAAMISEN KANNATTAVUUS ASUIN-
KERROSTALOSSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Matti Pentti
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiede-
kuntaneuvoston kokouksessa 9.
joulukuuta 2015

TIIVISTELMÄ

KALLE TIMOLA: Energiatehokkaan korjaamisen kannattavuus asuinkerrosta-
lossa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 82 sivua, 8 liitesivua

Joulukuu 2015

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: professori Matti Pentti

Avainsanat: Korjausrakentaminen, energiaremontti, energiansäästö, energiatehokkuus, energiamääräykset, kannattavuus, elinkaarilaskenta, investointilaskenta

Tutkimuksessa tarkasteltiin korjausrakentamisen yhteydessä toteutettavien energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuutta kiinteistönomistajan kannalta. Tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään, vaativatko nykyiset korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset rakennushankkeeseen ryhtyvältä toimenpiteitä, jotka ovat taloudellisesta näkökulmasta kannattavuudeltaan heikompia.

Tutkimuksessa selvitettiin olemassa olevan 1960 – ja 1970 – luvuilla rakennetun asuinkerrostalokannan energiansäästöpotentiaalia. Aikakauden rakennusten energiatehokkuutta on mahdollista parantaa huomattavasti, kun rakennukset ja rakennusosat tulevat peruskorjausikään. Ensisijaisesti rakennuksia korjataan korjaustarpeen mukaisesti ja energiatehokkuustoimenpiteitä toteutetaan korjausten yhteydessä, mikäli se on mahdollista. Nykyiset korjausrakentamismääräykset kuitenkin pakottavat rakennushankkeeseen ryhtyvän parantamaan korjattavan rakennuksen energiatehokkuutta, mikäli se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti mahdollista. Tutkimuksen mukaan taloudellista kannattavuutta tulee arvioida muiden mahdollisten sijoituskohteiden perusteella.

Korjausmahdollisuuksia sovellettiin tapaustutkimuksessa todelliseen kohteeseen. Kohteesta vertailtiin kuuden erilaista korjaustoimenpidepaketin investointikustannuksia ja energiakustannussäästöjä. Energiansäästöjen arvioimiseksi lähtötilanteesta sekä korjausvaihtoehtoista laadittiin energiankulutusmallit. Korjausvaihtoehtojen vertailun perusteella voitiin arvioida energiatehokkaiden korjausten lisäinvestointien kannattavuutta. Kannattavuutta tarkasteltiin 30 vuoden elinkaaren aikana sisäisen korkokannan ja nett nykyarvon perusteella.

Tutkimuksen mukaan energiatehokkuuteen panostaminen korjaamisessa ei tuota riittävää tuottoastetta relevantilla tarkastelujaksolla. Kalliimpi ja energiatehokkaampi korjausvaihtoehto voi olla minimiremonttia kannattavampi, mutta suhteellinen kannattavuus riippuu enemmän vertailtavien korjausvaihtoehtojen elinkaarikustannuksista kuin eroista energiansäästöissä. Lisäinvestointien tuottoasteet olivat tutkimuksessa pienehköjä; noin 2 – 4 % luokkaa. Kannattavuuden lisäksi tutkimuksessa selvisi, että jo vähäinen korjaaminen voi täyttää korjausrakentamisen energiamääräysten vaatimukset eivätkä vaatimukset välttämättä edellytä kiinteistönomistajalta taloudellisesti mahdotonta korjausratkaisua.

ABSTRACT

KALLE TIMOLA: The profitability of an energy efficient renovation in an apartment building

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 82 pages, 8 Appendix pages

December 2015

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction Production

Examiner: Professor Matti Pentti

Keywords: Renovation, energy renovation, energy saving, energy efficiency, energy regulations, profitability, life cycle costing, investment calculations

The study looked at profitability of the energy efficiency measures taken during renovation of an apartment building. The study also examines whether the Finnish energy regulations demand such energy efficiency measures that are financially unprofitable to the property owner.

The study examined the energy saving potential of existing stock of 1960 - and 1970 - built residential apartment buildings. Energy efficiency of the buildings can be improved in the end of the life span when they are renovated. The priority is to renovate a property according to its need of repairs and energy efficiency can be taken into account when choosing the renovation measures. However, the current energy regulations concerning renovation projects force the owner to improve the energy efficiency of the building if it is technically, functionally and financially feasible. The study states that the profitability of the project should base on the rate of return of other investment possibilities.

The examined renovation measures were applied into a real case-study property. In the case-study six optional renovation measure packages were compared by the investment costs and annual energy savings of the options. Energy consumption models were calculated from the six options and the start-up situation to evaluate the energy savings. After the comparison of investment costs and energy savings the profitability of each option was calculated. The profitability calculation methods were internal rate of return and net present value over a 30-year lifespan.

According to the study energy efficiency measures in a renovation project have low profitability when the life cycle and interest rate are realistic. More expensive and energy efficient renovation package may be more profitable than the minimum option but the relative profitability depends more on the life cycle costs of the compared alternatives than the energy savings. The rates of return were fairly modest in the research; approximately 2 – 4 %. However, in the study it was discovered that even a minor renovation meets the requirements of construction energy efficiency regulations. The regulations will not necessarily force the property owner to make a financially unfeasible renovation.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus tehtiin Tampereen teknillisessä yliopistossa Talouden ja rakentamisen tiedekunnassa Rakennustekniikan diplomityönä. Työn ohjaajana ja tarkastajana toimi professori Matti Pentti. Haluan kiittää professori Matti Penttiä tuesta ja ohjauksesta, jota sain työn suorittamiseen ja aiheen muotoiluun. Suuret kiitokset myös Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiölle, joka tarjosi rahoituksen diplomityön tekemiseen.

Juhani Heljo ansaitsee kiitoksen avusta työn energiatarkastelun toteutuksessa. Tahdon kiittää myös teollisuustalouden lehtori Olli Manniselle, joka selkiytti ajatuksiani korkokantojen suhteen.

Erityisesti haluan kiittää Tampereen opiskelija-asuntosäätiötä, joka tarjosi diplomityöhön tapaustutkimuskohteen. Tahdon kiittää toimitusjohtaja Timo Lehtoa, jonka kanssa keskustelimme kohteen mahdollisuuksista. Kiitos kuuluu myös Jari Ahoselle ja muulle henkilökunnalle.

Kiitokset vertaistuesta ja kahviseuraa ansaitsevat Eero, Pekka ja Jussi. Hyvässä seurassa ajatusten kehittäminen ja testaaminen oli mahdollista. Erityiskiitos kuuluu Jussille rakentavista keskusteluista. Lopuksi haluan kiittää rakasta vaimoani Annaa kaikesta siitä tuesta ja ymmärryksestä, jota diplomityöprosessin aikana sain.

Tampereella, 22.11.2015

Kalle Timola

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT.....	VI
1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta.....	1
1.2 Tutkimusongelma ja rajausta	2
1.3 Tutkimuksen tavoitteet.....	4
1.4 Tutkimuksen rakenne ja menetelmät	4
2. RAKENTAMISEN ENERGIAPOLITIikka.....	5
2.1 Maailmanlaajuinen ilmastopolitiikka	5
2.2 Rakennusten energiankulutus Suomessa	5
2.3 Energiatehokkuus rakentamismääräyskokoelmassa.....	7
2.4 Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset.....	8
3. ENERGIANKULUTUS ASUINKERROSTALOSSA.....	11
3.1 Lämmitys	13
3.1.1 Johtuminen	15
3.1.2 Ilmanvaihto.....	17
3.1.3 Lämmin käyttövesi.....	19
3.2 Sähkö	19
3.3 Energiankulutuksen laskenta.....	20
3.3.1 U-arvolaskenta.....	21
3.3.2 Ilmavuodot.....	22
3.3.3 Ilmanvaihto.....	23
3.3.4 Sähkö.....	23
4. KORJAUSTOIMINTA	24
4.1 Rakennuksen vaippa	24
4.1.1 Ulkoseinä.....	24
4.1.2 Ikkunat ja ovet	29
4.1.3 Yläpohja	30
4.2 Talotekniset järjestelmät	32
4.2.1 Lämmitysjärjestelmä.....	32
4.2.2 Käyttövesi ja viemärit	33
4.2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät.....	33
5. KANNATTAVUUSTARKASTELU	36
5.1 Investointilaskenta.....	37
5.1.1 Laskentakorkokanta ja tuottovaatimus.....	37
5.1.2 Annuiteettimenetelmä	39
5.1.3 Takaisinmaksuaika.....	40
5.1.4 Nettonykyarvo	40
5.1.5 Sisäinen korkokanta.....	41
5.1.6 Herkkyystarkastelu	41
5.2 Energiaremontin erityispiirteet.....	42

5.2.1	Tarkastelujakso	42
5.2.2	Likviditeetti	43
5.2.3	Energian hinnan vaikutus	43
5.2.4	Ilmaston lämpenemisen vaikutus.....	44
5.2.5	Tuettu rahoitus ja avustukset	44
5.2.6	Arvonnousu	45
5.2.7	Energiaremontti investointina.....	46
5.3	Kannattavuuden vertailu	46
6.	TUTKIMUKSEN KULKU, MENETELMÄT JA KOHDE	48
6.1	Tutkimuksen kulku	48
6.2	Laskentamallit	49
6.2.1	Energiankulutusmalli	49
6.2.2	Kustannustieto	50
6.3	Kohteen ominaisuudet	51
6.4	Korjausvaihtoehdot.....	56
6.4.1	Minimikorjaus.....	56
6.4.2	Energiatehokkuustoimenpiteet	57
6.4.3	Vaihtoehtoiset korjaukset	60
7.	TULOKSET.....	66
7.1	Investoinnin kannattavuus.....	66
7.2	Herkkyystarkastelu	69
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	73
	LÄHTEET	77

LYHENTEET JA MERKINNÄT

E-luku	Ympäristöministeriön määrittämällä tavalla laskettu luku, joka kertoo rakennuksen energiatehokkuuden. E-lukulaskennassa rakennuksen vuodessa kuluttama energiamäärä painotetaan energiamuotokertoimella ja jaetaan kerrosalalle.
Energiahäviö	Rakennusosan tai järjestelmän kuluttama energia. Myös lämpöhäviö.
Energiakorjaus	Korjaustoimenpide, jonka tarkoituksena on parantaa energiatehokkuutta.
Energiankulutus	Energiankulutus sisältää rakennuksen lämmitysenergian sekä kiinteistö- ja huoneistosähkön kulutuksen.
Energiansäästöpotentialiaali	Rakennusosien tai järjestelmien uusimiseen liittyvä energian säästön mahdollisuus.
Huoneistoala (h-m^2)	Huoneistoala on pinta-ala, joka lasketaan huoneistoa ympäröivien seinien sisäpintojen mukaan. Huoneistoalan lasketaan mukaan väliseinät.
Ilmanvuotoluku q_{50}	Ilmanvuotoluku kertoo, paljonko rakennuksen vaipan kautta vuotaa ilmaa. Ilmanvuotoluvun yksikkö on $\text{m}^3/\text{h m}^2$.
Inflaatio	Yleisen hintatason noususta johtuva rahan arvon heikkeneminen.
Investointi	Rahan sijoittaminen johonkin kohteeseen tuottotarkoituksessa. Investointi on yleensä kertaluontoinen.
Kerrosala (kem^2)	Kerrosala on rakennuksen pinta-ala, ja se lasketaan rakennuksen ulkoseinien ulkopinnan mukaan.
Kustannus	Tuotannontekijän tai resurssin rahamääräisenä ilmoitettu kulutus.
Laskentakorkokanta	Investointilaskelmissa käytettävä korkokanta, jolla rahan aika-arvo ja tuottoastevaatimus saadaan huomioon.

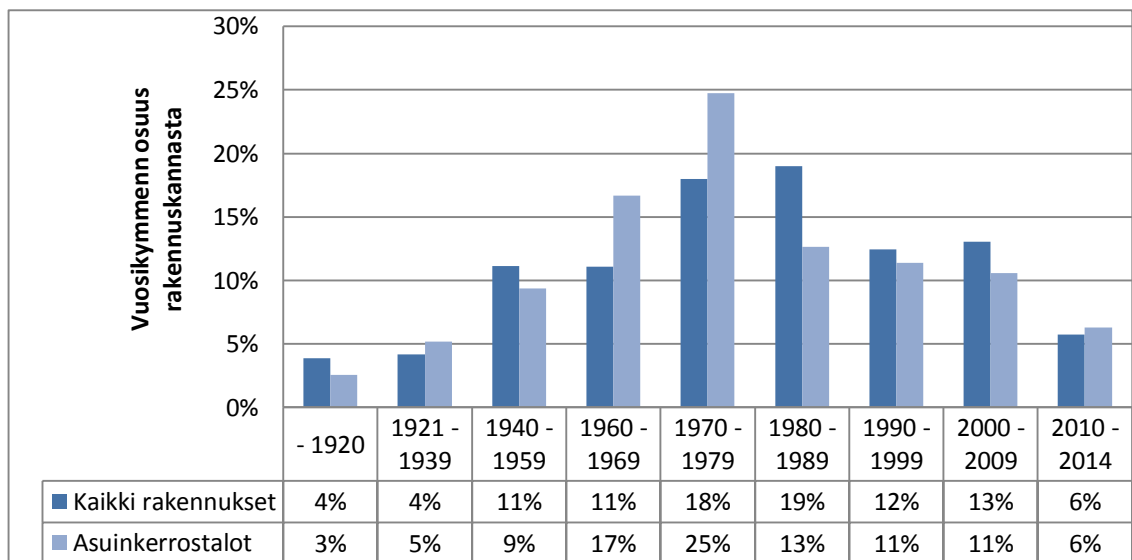
Nettonykyarvo	Investoinnin elinkaaren varrella kertyneiden tuottojen nykyarvo.
Oma pääoma	Yrityksen omistajien yritykseen sijoittamaa omaisuutta tai rahaa. Omaa pääomaa ei tarvitse maksaa takaisin. Usein omalla pääomalla on korkeampi tuottoastevaatimus kuin vieraalla pääomalla.
Ostoenergiankulutus	Ostetun energian määrä. Kaikkea energiaa ei kuluteta siellä, missä energiaa tarvitaan, vaan osa energiasta häviää matkalla.
Preemio	Riskittömään korkoon lisättävä tuottovaatimus. Tuottovaatimus johtuu kaikkeen liiketoimintaan sisältyvästä riskistä sekä tarpeesta saada tuottoa.
Rakennuksen vaippa	Rakennuksen ulkoilmaa vasten olevat rakennusosat. Vaipan muodostavat yläpohja, ulkoseinät, ikkunat ja ovet sekä alapohja.
Riskitön korko	Riskitön korko on riskittömän sijoituksen tuottoaste. Riskittöminä sijoituksina pidetään vauraiden ja vakaiden valtioiden joukkovelkakirjoja. Riskitön korko on pieni ja asettaa alarajan yleisesti sijoituksissa käytettävillä koroille.
Sisäinen korkokanta	Tarkastelujaksolla nettonykyarvon nollatuloksen tuottava laskentakorkokanta
Tuotto	Investoinnista tuleva voitto. Tuotto ilmoitetaan usein vuosittaisena arvona.
Tuottoastevaatimus	Tuottoastevaatimus, tuottovaatimus tai tuotto-odotus tarkoittaa sitä tuottoa, jonka sijoittaja investoinnistaan vaatii. Tuottoaste lasketaan jakamalla vuosittaiset tuotot investoinnin kokonaissummalla.
U-arvo	U-arvo on lämmönläpäisykerroin ja se kertoo rakennusosan lämmöneristyskyvystä. U-arvon yksikkö on W/m^2K . Mitä pienempi U-arvo on, sitä paremmin rakennusosa eristää lämpöä.
Vieras pääoma	Vieras pääoma on yritykseen sen ulkopuolelta sijoitettua rahaa. Vieras pääoma on lainaa, joka pitää maksaa takaisin.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Korjausrakentamisen osuus Suomen rakennusalan volyymistä kasvaa 2000-luvun alkuvuosikymmeninä merkittävästi. Rakennusten korjaamisessa tulee entistä enemmän vaikuttaa energiatehokkuuteen, mutta kiinteistönomistajan näkökulmasta kustannustehokkaasti.

Suomen rakennuskannasta suuri osa on rakennettu teollistuneen sarjatuotannon aikakaudella 1960- ja 1970-luvuilla. Rakentamisen volyymi kasvoi merkittävästi jälleenrakentamiskaudella ja voimistui edelleen rakentamisen teollisen tuotannon myötä. Tämä vaikuttaa myös asuinkerrostalojen ikäjakaumaan. Kuva 1 ilmentää asuinkerrostalojen rakentamisen ajoittumista eri vuosikymmenille.



Kuva 1. Asuinrakennuskannan ikä. Kuvassa vertailun vuoksi myös koko rakennuskannan ikä vuosikymmenittäin. (PX-WEB Statfin 2015)

42 % kaikista nykyisistä asuinkerrostaloista on rakennettu vuosien 1960 ja 1980 välisenä aikana, kuten Kuva 1 osoittaa. Rakennusosat sekä tekniset järjestelmät ikääntyvät eri tahdissa mutta suurimmat remontit tulevat ajankohtaiseksi yleensä noin 50 vuoden käyttöiässä. (Kaivonen et al. 1994) Rakennusten laajamittainen korjaaminen on kiihtynyt 1990-luvulta ja on perusteltua odottaa, että perusparannusten määrä kasvaa myös 2000-luvun alkupuolella.

Suomen talous kärsii edelleen vuonna 2008 alkaneesta taantumasta. Rakentaminen on vähentynyt toimijoiden investointien puutteessa. Olemassa olevan rakennuskannan korjaamista ei kuitenkaan voi lykätä merkittävästi ja korjausrakentaminen on ollut lievässä kasvussa (VTT 2013).

EU on päättänyt osaltaan hidastaa ilmastonmuutosta yhteisellä energiapolitiikalla. Taavoitteena on vähentää haitallisia päästöjä ja kiinnittää huomiota energiatehokkuuteen. Jäsenmaiden rakennuskanta käyttää suurta osan ostoenergiasta joten rakennuksista pitää saada entistä energiatehokkaampia. Uudiskohteisiin vaikuttaminen on helpompaa, mutta rakennuskanta uudistuu hitaasti, vain noin 1,5 % vuodessa. Energiatehokkuusvaatimukset pyritään ulottamaan myös korjattaviin kohteisiin. (Ympäristöministeriö 2007)

Korjausrakentamisen kustannuksia – kirjassa (Rakennustieto, 2015) nostetaan esille energiansäästömahdollisuuksia korjausrakentamisen yhteydessä. Prosentuaaliset energiansäästöt eri korjausten yhteydessä ovat muutamasta prosentista jopa kymmeneen prosenttiin.

Kurvinen, Heljo & Aaltonen (2012) käsittelevät tutkimusraportissa Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuutta ja painottavat koko elinkaaren huomioimista laskennassa. Mikäli tarkastelua ei suoriteta huolellisesti, kannattavien energiatehokkuustoimenpiteiden suorittamisen mahdollisuus voidaan sivuuttaa 30 – 50 vuodeksi.

1.2 Tutkimusongelma ja rajaus

Tutkimuksessa keskitytään 1960- ja 1970-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen energiatehokkuuteen sekä korjaamiseen. Vanhaa kerrostaloa korjattaessa on usein mahdollista valita korjaustoimenpiteiksi energiatehokkaampia vaihtoehtoja. Energiatehokkaamat vaihtoehdot ovat kuitenkin minimivaatimuksia kalliimpia.

Tutkimusongelma on, ovatko lisäinvestoinnit energiatehokkuuteen taloudellisesti kannattavia kiinteistönomistajan näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan, vaativatko korjausrakentamisen energiamääräykset kiinteistönomistajalta raskaampia toimenpiteitä, kuin mitkä muuten olisivat teknisesti riittäviä ja taloudellisesti kannattavia.

Aihe on rajattu 1960 – ja 1970 – lukujen betonirakenteisiin asuinkerrostaloihin. Tutkimuksessa keskitytään ajan tavanomaisiin rakennuksiin sekä nykyään tavanomaisimpiin sovellettaviin korjausmenetelmiin. Rakennukset ovat ominaisuuksiltaan ja kunnoltaan hyvin erilaisia ja korjaus- ja energiatehokkuustoimenpiteiden valinta on aina tapauskohtaista. Yleiskäsityksen luomiseksi tavanomaisten ratkaisujen tarkastelu on ollut tarkoituksenmukaista.

Energiatehokkuustoimenpiteiden käsittelyssä on keskitytty ainoastaan energiansäästöihin. Energiatehokkuutta ja rakennusten korjaamista voidaan tarkastella monesta muustakin näkökulmasta. Korjausrakentamisella vaikutetaan usein voimakkaasti rakennuksen arkkitehtuuriin ja kohteen esteettisyyteen. On hyvin oleellista, että rakennukset olisivat käyttäjien mielestä kauniita ja kaupunkikuva säilyisi viihtyisänä.

Korjausrakentamisella ja energiatehokkuustoimenpiteillä vaikutetaan myös rakennusten sisäilmaan, akustiikkaan ja viihtyisyyteen. Ilmanvaihtojärjestelmän remontit johtuvat usein muutostarpeista sisäilmassa (Virta & Pylsy 2011). Korjausratkaisuilla voidaan vaikuttaa häiritsevien äänten kulkeutumiseen asuntoon tai vähentää vetoisuuden tunnetta asunnoissa.

Energiatehokkuustoimenpiteitä voidaan tarkastella taloudellisten energiansäästöjen lisäksi ekologiselta kannalta. Ekologisissa tarkasteluissa vaihtoehtoja arvotetaan sen mukaan, miten paljon eri vaihtoehdot kuluttavat ympäristöä tuottamalla esimerkiksi hiilidioksidipäästöjä.

Tärkeä kriteeri valittaessa korjausrakentamiskorjausta on tekninen toimivuus. Vaihtoehtoja pohdittaessa on tärkeää varmistaa rakenteiden kantavuus sekä kokonaisuuden rakennusfysikaalinen toiminta. Julkisuudessa on ollut paljon keskustelua rakennuksista, jotka korjaushankkeen jälkeen ovat turmeltuneet mikrobien ja kosteuden vaikutuksesta.

Kaikkien näkökulmien samanaikainen tarkastelu on ongelmallista. Eri näkökulmia ei voida suoraan mitata samoilla suureilla. Tarkastelunäkökantoja voidaan yhteismitallistaa asettamalla niille painoarvokertoimia, mutta tällainen vaatii arvovalintoihin perustuvia päätöksiä (Kurvinen et al 2012). Tässä diplomityössä tutkimusongelman asettelu oli rajattu tarkasti energiansäästöön liittyvään taloudelliseen kannattavuuteen. Ideaalitilanteessa päätöksentekijällä on käytössään riittävästi relevanttia tietoa päätöksenteon tueksi (Taylor 1975). Kannattavuustietoa voidaan ajatella hintalappuna muille näkökulmille.

Korjaushankkeen aikana kiinteistöä voidaan muokata paremmin ajanhetkeen sopivaksi. Tämä vaikuttaa oleellisesti asukkaiden viihtyisyyteen ja oletettavasti myös maksuhaluuteen. Kiinteistönomistajan liiketoimintaa ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa tarkastella syvällisemmin. Energiansäästötoimenpiteiden voidaan ajatella vaikuttavan välillisesti kiinteistöstä saataviin tuottoihin. Tutkimus keskittyy energiatehokkuustoimenpiteiden suoriin energiakustannusten säästövaikutuksiin. Taloudellista kannattavuutta tarkastellaan elinkaarilaskennan näkökulmasta, jossa kustannukset muodostuvat korjausrakentamiskustannuksista ja tuotot odotettavissa olevista vuotuisista energiansäästöistä.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Uuden energiamääräykset velvoittavat kiinteistönomistajan toteuttamaan energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä muiden korjaustoimenpiteiden yhteydessä. Kiinteistönomistajaa kiinnostaa, onko energiatehokkuuden parantaminen hänen kannaltaan hyödyllistä. Toisin sanottuna: Kattavatko energiakuluissa säästetyt eurot lisäinvestoinnit energiatehokkuuteen rakennuksen elinkaaren aikana?

Aikaisempien tutkimusten valossa voidaan todeta, että todennäköisesti jonkin asteinen energiatehokkuuden parantaminen kannattaa, mutta kaikkia parannustoimenpiteitä ei kannata välttämättä tehdä. Tutkimuksessa pyritään selvittämään, mikä toimenpidekokonaisuus olisi esimerkkikohteena olevalle 1960-luvun kerrostalokohteelle optimaalisin ratkaisu.

1.4 Tutkimuksen rakenne ja menetelmät

Raportissa on kirjallisuuskatsaukseen pohjautuva teoriaosa sekä empiirinen laskentaosa. Kirjallisuusselvityksen aluksi käsitellään, miksi olemassa olevien asuinkerrostalojen pitäisi ylipäänsä vähentää energiankulutustaan. Tämän jälkeen käsitellään, mihin energiaa kuluu, millaiset säästöt ovat mahdollisia ja miten energiansäästöjä voidaan laskea. Sitten tarkastellaan korjausrakentamisen näkökulmasta, missä yhteydessä energiansäästöjä voidaan toteuttaa, miten toimenpiteillä voidaan vaikuttaa energiankulutukseen ja paljonko eri toimenpiteet maksavat. Sen jälkeen tarkastellaan investointilaskennan näkökulmasta, miten energiansäästöjen ja korjauskustannusten perusteella voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta.

Teoreettisen kirjallisuuskatsauksen jälkeen energialaskennan ja kannattavuuslaskennan malleja sovelletaan todelliseen kohteeseen. Kohteesta selvitetään tarpeellinen määrä ominaisuuksia, joiden perusteella energialaskenta voidaan suorittaa. Energialaskennan työkaluksi lähtötilanteesta muodostetaan energiankulutusmalli. Rakennuksen kunnon perusteella määritetään korjaustarve ja korjaustarpeen tyydyttävät korjaustoimenpiteet. Minimikorjauksen lisäksi laaditaan energiatehokkaampia korjausvaihtoehtoja. Eri korjausvaihtoehtojen lisäksi laaditaan omat energiankulutusmallit. Kaikista korjausvaihtoehtoista selvitetään korjauskustannukset. Korjausvaihtoehtojen kustannuksia ja säästöjä verrataan ja niiden perusteella arvioidaan eri vaihtoehtojen kannattavuutta.

2. RAKENTAMISEN ENERGIAPOLITIikka

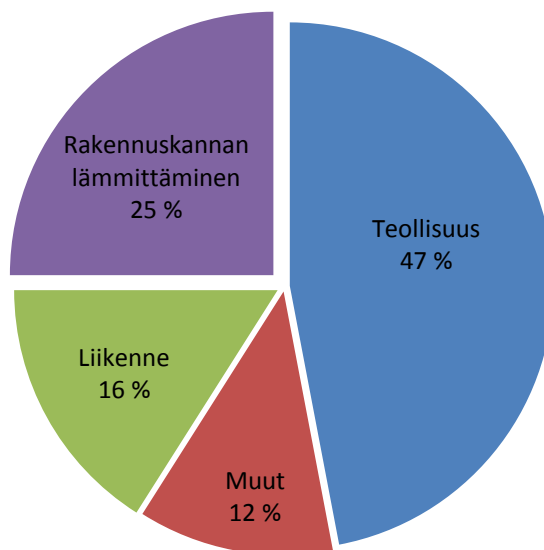
2.1 Maailmanlaajuinen ilmastopolitiikka

Vuonna 1992 Yhdistyneet kansakunnat laati ilmastomuutosta koskevan puitesopimuksen, jonka tavoitteena oli vakauttaa maailmanlaajuiset kasvihuonepäästöt vaarattomalle tasolle. Sopimuksen allekirjoittaneet 195 maata sitoutuivat hillitsemään ilmastomuutosta vähentämällä päästöjä ja sopeutumalla sen aiheuttamiin muutoksiin. YK:n ilmastopuitemusta täydennettiin Kioton pöytäkirjalla 1997, jossa teollisuusmaille määrättiin tarkempia päästövähennysvelvoitteita. YK:n puitesopimusta pidetään ilmastomuutoksen vastaisen energiapolitiikan alullepanijana. (Kansainvälisen ympäristöpolitiikan keskus 2015)

Euroopan unioni on noudattanut omassa politiikassaan YK:n velvoitteita ja laatinut omat tavoitteensa jäsenmaille. Euroopan unionin vuonna 2010 lanseeraaman energia- ja ilmastopoliittisen direktiivin 2010/31/EU tavoitteina on muun muassa vähentää kasvihuonekaasuja 20 %, lisätä uusiutuvan energian käyttöä 20 % ja parantaa energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteiden lähtötasoksi on otettu vuoden 1990 tilanne. Direktiivi 2010/31/EU määrittää yleisten tavoitteiden lisäksi suhteellisen tarkasti lähtökohdat ja laskentaperiaatteet, miten energiatehokkuutta tulee parantaa. (Euroopan unioni 2010) EU-valtioiden päämiehistä koostuva Eurooppa-neuvosto hyväksyi lokakuussa 2014 ilmasto ja energiapolitiikan jatkotavoitteet, joiden mukaan kasvihuonekaasupäästöt vähennetään 40 % prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. (Eurooppa-neuvosto 2014) Euroopan unionin energiapolitiikka on jäsenmaita velvoittava, mutta jäsenmailla on vapaus toteuttaa energiapolitiikkaa valitsemallaan tavalla. Energiapolitiikka vaikuttaa teollisuuteen ja päästöihin mutta myös merkittävästi kiinteistö- ja rakennusalaan.

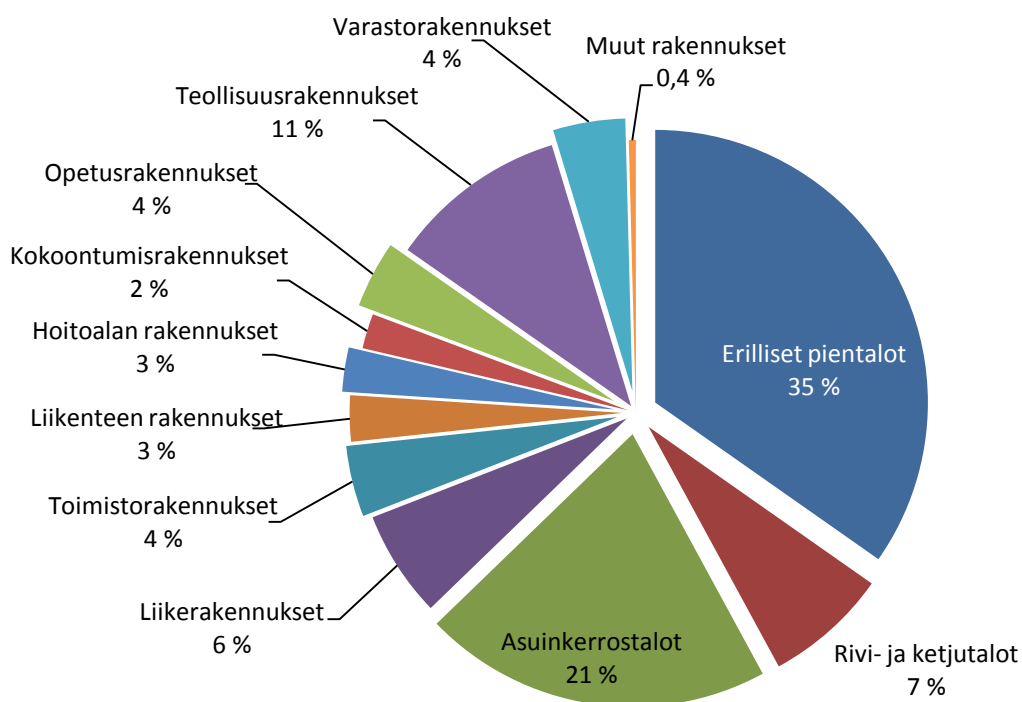
2.2 Rakennusten energiankulutus Suomessa

Rakennettu ympäristö vaikuttaa merkittävästi Suomen vuotuisen energiankulutukseen. Kuva 2 kertoo energian loppukäytön jakautumisesta Suomessa vuonna 2014.



Kuva 2. *Energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2014 (PX-WEB Statfin 2015).*

Pelkästään rakennusten lämmittämiseen vaadittava energia vastasi neljäsosaa kaikesta vuonna 2014 käytetystä energiasta. Suurin osa rakennuksista on asuinkäyttöön tarkoitettuja, kuten Kuva 3 esittää. Kuvaajassa rakennukset on jaoteltu käyttötarkoituksen mukaan ja prosenttiosuus kertoo niiden kerrosalakohtaiset osuudet koko rakennuskannasta.



Kuva 3. *Rakennusten kerrosalakohtaiset osuudet käyttötarkoituksen mukaan vuonna 2014 (PX-WEB Statfin 2015)*

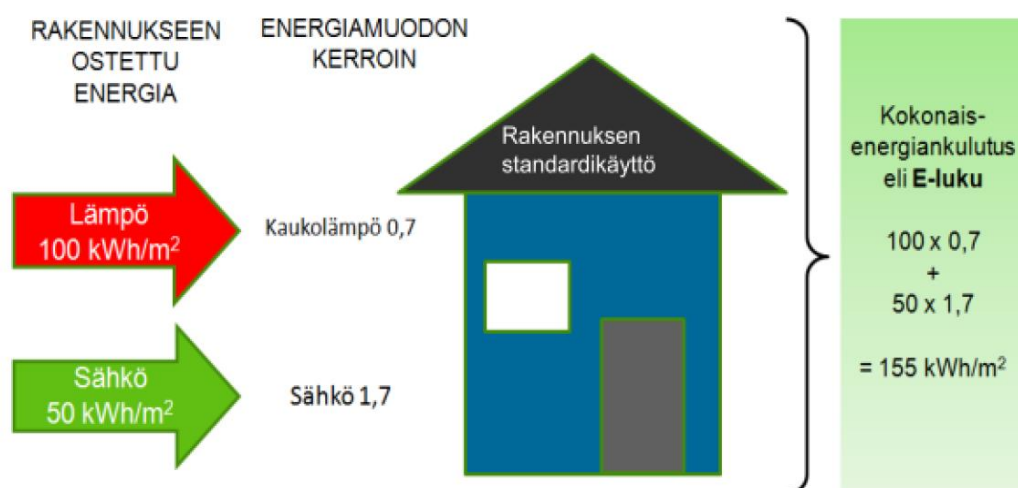
Asuinrakennusten kerrosalakohmainen osuus kaikista rakennuksista vuonna 2014 oli huomattavan suuri, noin 63 % koko maan rakennuskannasta. Omakotitalojen osuus oli yli kolmannes kaikista rakennuksista ja asuinkerrostalojen osuus oli 21 %.

2.3 Energiatehokkuus rakentamismääräyskokoelmassa

Suomessa rakennusalaan koskevat velvoitteet on kirjattu maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmaan. Maankäyttö- ja rakennuslain pykälä 117§ g 21.12.2012/958 kertoo yleiset periaatteet rakentamisen energiatehokkuudesta Suomessa. Pykälän 117§ g mukaan suunniteltavan rakennuksen tulee olla energiatehokas siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi. Rakennus- tai toimenpidelupaa vaativien korjaus- ja muutostöiden yhteydessä rakennuksen energiatehokkuutta on parannettava, mikäli se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti mahdollista.

Rakentamismääräyskokoelma on maankäyttö- ja rakennuslakia yksityiskohtaisempi kokoelma sääntöjä ja ohjeita. Rakentamismääräyskokoelma koostuu voimassa olevista ympäristöministeriön rakentamista koskevista asetuksista ja ohjeista. Asetukset ja määräykset ovat velvoittavia, ohjeet sen sijaan eivät. Rakennusten energiatehokkuutta käsitellään rakentamismääräyskokoelman osissa C4, D3 ja D5. D3 määrittelee energiatehokkuuden vaatimukset ja osat C4 ja D5 antavat lisäohjeita energiatehokkuuslaskennan suorittamiseen. (Rakentamismääräyskokoelma C4 2011, Rakentamismääräyskokoelma D3 2011, Rakentamismääräyskokoelma D5 2011)

Nykyinen rakentamismääräyskokoelman osa D3 on tullut voimaan vuonna 2012. Merkittävänä uudistuksena oli ekologisuuden huomioiminen energiankulutuksessa. Rakennuksen välittömästi kuluttaman energian lisäksi nykyään huomioidaan myös energian tuottaminen. Tarkastelua kutsutaan rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen laskennaksi, jossa huomioidaan energiankulutuksen lisäksi käytetyn energiamuodon primäärienergiankulutus. Tästä käytetään nimitystä E-luku. E-luku kertoo karkeasti rakennuksen vuotuisen lämpö- ja sähköenergian kulutuksen lämmitettyä nettoalaa kohden. Energiankulutuksen arvoa kerrotaan energiamuotokertoimella. (Rakentamismääräyskokoelma D3 2008, Rakentamismääräyskokoelma D3 2011) Rakennuksen E-luvun laskentaa on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. E-luvun laskennan perusperiaate (Ympäristöministeriö 2012)

Esimerkiksi sähkö on pitkälle jalostettua energiaa. Yhtä ostettua sähköenergiakvanttia kohden kuluu huomattavasti suurempi määrä primäärienergiaa, kun huomioidaan voimalaitoksen hyötysuhde sekä sähköenergian siirrossa voimalaitokselta kiinteistölle tapahtuvat häviöt. Tästä syystä sähköön energiamuotokerroin on 1,7. Kaukolämpö saadaan yleensä sähköön valmistuksen sivutuotteena. Siksi sen energiamuotokerroin on vain 0,7. (Ympäristöministeriö 2012)

Rakennuksen E-lukulaskennassa sähkö- ja lämmitysenergian kulutus lasketaan rakennuksen suunnitteluratkaisun ominaisuuksien sekä niin kutsutun standardikäytön perusteella. Tavoitteena on, että E-luku toimii vertailukelpoisena suureena eri rakennusten välillä, joten rakennuksen käytöllä ei voi vaikuttaa E-lukuun. (Ympäristöministeriö 2012)

Rakentamisen energiatehokkuusvaatimukset on liitetty E-lukuun. Erityyppiset rakennukset, kuten pientalot, asuinkerrostalot tai sairaalat, on jaettu omiin rakennusluokkiinsa ja rakennusluokille on asetettu kokonaisenergiankulutuksen maksimitasot. Suunnitteluvaiheessa rakennukselle lasketaan E-luku ja rakennusluvan ehtona on, että E-luku alittaa rakennusluokanmukaisen tason. (Rakentamismääräyskokoelma D3 2011)

2.4 Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset

Syyskuussa 2013 astui voimaan ympäristöministeriön säätämä asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Asetus tarkentaa maankäyttö- ja rakennuslain pykälää 117§ g korjausrakentamisen osalta. Korjausrakentamista suunnittelevalle kiinteistönomistajalle annetaan kolme vaihtoehtoa, miten energiatehokkuutta on parannettava rakennus- tai toimenpidelupaa vaativan remontin yhteydessä.

Ensimmäinen vaihtoehto on parantaa korjattavien tai uusittavien rakennusosien lämmönläpäisykerrointa määräysten mukaiselle tasolle.

1. Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ tai parempi.
2. Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ tai parempi.
3. Alapohja: Energiatohokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.
4. Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.

Rakennusosien lisäksi teknisille järjestelmille on vastaavat vaatimukset.

1. Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %.
2. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.
3. Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.
4. Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.
5. Lämmitysjärjestelmän hyötysuhdetta parannetaan laitteiden järjestelmien uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan.

Toisena vaihtoehtona on vähentää rakennuksen energiankulutusta rakennusluokan mukaiselle tasolle. Energiankulutuksella ei tarkoiteta E-lukua eli kokonaisenergiankulutusta energiamuotokertoimineen, vaan rakennuksen standardikäytössä syntyvää ostoenergiankulutusta.

1. Pien-, rivi- ja ketjutalo $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
2. Asuinkerrostalo $\leq 130 \text{ kWh}/\text{m}^2$
3. Toimisto $\leq 145 \text{ kWh}/\text{m}^2$
4. Opetusrakennus $\leq 150 \text{ kWh}/\text{m}^2$
5. Päiväkoti $\leq 150 \text{ kWh}/\text{m}^2$
6. Liikerakennus $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
7. Majoitusliikerakennus $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
8. Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli $\leq 170 \text{ kWh}/\text{m}^2$
9. Sairaala $\leq 370 \text{ kWh}/\text{m}^2$

Standardikäytön energiankulutuksella tarkoitetaan rakennuksen laskennallista energiankulutusta, kun rakennusta käytetään rakentamismääräyskokoelman mukaisella teoreettisella tavalla. Kun käyttö on standardisoitu, muuttujina ovat rakennuksen varsinaiset ominaisuudet. Tämä mahdollistaa eri rakennusten vertaamisen ominaisuuksiensa mukaan.

Kolmantena vaihtoehtona on pienentää rakennuksen E-lukua rakennusluokanmukaiselle tasolle. Tässä E-vaadittu tarkoittaa korjausratkaisulta vaadittavaa E-lukua ja E-laskettu tarkoittaa lähtötilanteen laskennallista E-lukua.

1. Pien-, rivi- ja ketjutalo: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
2. Asuinkerrostalo: $E\text{-vaadittu} \leq 0,85 \times E\text{-laskettu}$
3. Toimisto: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
4. Opetusrakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
5. Päiväkotitoiminta: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
6. Liikerakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
7. Majoitusliikerakennus: $E\text{-vaadittu} \leq 0,7 \times E\text{-laskettu}$
8. Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$
9. Sairaala: $E\text{-vaadittu} \leq 0,8 \times E\text{-laskettu}$

Esimerkiksi asuinkerrostalon E-lukua tulee korjauksen yhteydessä pienentää ainakin 15 % alkuperäisestä. (Ympäristöministeriö 2013)

Toisen ja kolmannen vaihtoehdon tapauksessa energiatehokkuusvaatimusta ei tarvitse täyttää yhdellä remontilla. Määräykset antavat mahdollisuuden, että tulevista korjauksista laaditaan suunnitelma ja määräysten mukaiset energiavaatimukset toteutetaan vaiheittain. Näin energiatehokkuuden parantamiselle on taloudellisesti huomattavasti paremmat mahdollisuudet. (Nykänen et al. 2012, s. 104) Jää kuitenkin epäselväksi, millainen velvollisuus kiinteistönomistajalla on jatkossa noudattaa laadittua vaiheistussuunnitelmaa.

Ympäristöministeriön yli-insinööri Jyrki Kauppinen korostaa (Ympäristöministeriö 2012), että ehjää ei tarvitse korjata ja että korjaushankkeen yhteydessä energiatehokkuutta ei tarvitse parantaa, mikäli se ei ole teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti mahdollista. Teknisyydellä tarkoitetaan tilannetta, jossa esimerkiksi julkisivupinnoitetta uusitaan paikkaamalla ja maalaamalla. Tämän valitun korjausmuodon yhteydessä rakennuksen energiatehokkuutta ei ole teknisesti mahdollista parantaa. Toiminnallisuudella tarkoitetaan rakennuksen käytettävyyttä. Energiatehokkuutta ei tarvitse parantaa, mikäli se haittaa rakennuksen tarkoituksenmukaista käyttöä. Taloudellisuudella tarkoitetaan tilannetta, jossa energiatehokkuuden parantaminen ei kannata kiinteistönomistajan näkökulmasta. Kiinteistönomistajan vastuulla on antaa rakennuslupahakemuksen yhteydessä rakennusvalvontaviranomaiselle perustelut, jos energiatehokkuutta ei paranneta. Kiinteistön omistaja saa jatkossakin päättää rakennuksen korjaustoiminnan aikataulun ja laajuuden sekä kannattavuuden. Luvussa 5 syvennyttään taloudellisten laskelmien tekemiseen.

3. ENERGIAKULUTUS LOSSA

ASUINKERROSTA-

Kiinteistössä on joukko kustannuksia, joista energian kustannus on 20 – 25 %. Seuraavaksi tarkastellaan, millainen kulurakenne kiinteistössä on, minkä suuruinen energiakustannus on muiden kustannusten joukossa sekä miten energiatehokkuustoimenpiteet vaikuttavat kiinteistönhoitokuluihin.

Kiinteistönhoitokulut jaetaan tilinpäätöksessä yhtiömuodosta ja omistajan tarpeesta riippuen yleensä 10 – 20 kululajiin. Taulukko 1 esittää yleisimmät asuinkerrostalon kiinteistönhoitokulut Tilastokeskuksen (2014) mukaan. Kiinteistönhoitokulut on esitetty euro-määräisinä yhtä asuineliömetriä kohden kuukaudessa. Tilastokeskuksen tiedot ovat keskimääräisiä ja erot saattavat olla suuria. Taulukosta saa kuitenkin käsityksen eri ikäisten kiinteistöjen kustannusrakenteesta.

Taulukko 1. Asuinkerrostalon kiinteistönhoitokulut vuonna 2013 (PX-Web 2014)

Asuinkerrostalo	€/m ² /kk					
	-59	60-69	70-79	80-89	90-99	00-
Henkilöstökulut	0,10	0,07	0,08	0,05	0,06	0,02
Hallinto	0,52	0,45	0,36	0,39	0,46	0,40
Käyttö- ja huoltokulut	0,60	0,55	0,50	0,56	0,56	0,57
Ulkoalueiden hoito	0,11	0,07	0,07	0,09	0,10	0,09
Siivous	0,10	0,11	0,12	0,13	0,12	0,14
Lämmitys	1,21	1,20	1,15	1,02	0,96	0,80
Vesi ja jätevesi	0,35	0,36	0,38	0,37	0,35	0,32
Sähkö (ja kaasu)	0,14	0,17	0,21	0,16	0,17	0,22
Jätehuolto	0,18	0,15	0,14	0,15	0,16	0,14
Vahinkovakuutus	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08	0,06
Vuokrat	0,07	0,04	0,03	0,06	0,18	0,22
Kiinteistövero	0,30	0,28	0,25	0,28	0,29	0,35
Korjaukset	1,33	1,43	1,03	0,78	1,01	0,34
Muut hoitokulut	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
Yhteensä	5,16	5,02	4,45	4,16	4,52	3,70

Henkilöstökuluihin luetaan kiinteistönhoitohenkilöstön palkat ja sivukulut. Hallinto käsittää kiinteistön hallinnan henkilöstökulut. Käyttö- ja huoltokulut koostuvat muun muassa laitteiden säätämisestä sekä huoltamisesta. Ulkoalueiden hoitoon kuuluu nurmikon leikkuut sekä talvityöt. Siivous koskee kiinteistön yleisten tilojen säännöllistä siivoamista. Kiinteistön lämmityskulu sisältää lämmitysjärjestelmän kiinteät ja muuttuvat kustannukset sekä lämpimän käyttöveden tuoton. Sähkö tarkoittaa vain kiinteistösähköä, sillä

asukkaat maksavat usein itse huoneistosähkön. Jätehuoltoon kuuluu jäteastioiden tyhjennys sekä pesua. Vahinkovakuutuksesta käytetään yleensä nimitystä kiinteistövakuutus ja se korvaa tulipalon, putkivuodon ja säätilan aiheuttamia vahinkoja kiinteistössä. Kiinteistön maksamat vuokrat koostuvat tonttivuokrasta sekä muista mahdollisista vuokrista. Kiinteistövero on kiinteä 0,37 – 1,55 % osuus kiinteistön verotusarvosta. Kohta Korjaukset käsittää kaikki tavanomaista huoltotoimintaa suuremmat korjaustoimenpiteet. Muut hoitokulut on tarkoitettu sellaisille kuluerille, joita ei voida allokoida mihinkään muuhun yhteeseen. (Tuominen et al. 2000)

Edellä mainituista kuluista energiatehokkuustoimenpiteillä voidaan vaikuttaa käyttö- ja huoltokuluihin, lämmitykseen, veden kulutukseen, sähkön kulutukseen, kiinteistöveroon sekä korjauskuluihin. Muihin kuluihin perusparannuksella voidaan olettaa olevan vain vähäisiä tai epäsuoria vaikutuksia.

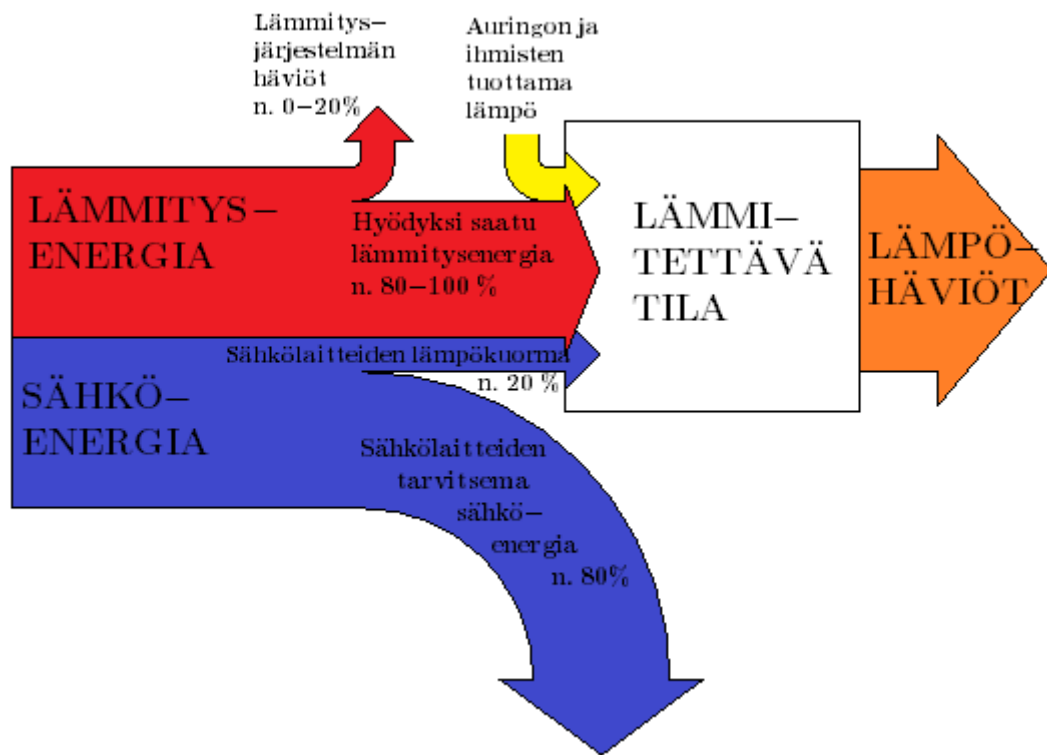
Käyttö- ja huoltokuluihin energiansäästötoimenpiteet vaikuttavat lähinnä laitehankintojen kautta. Kiinteistön tarpeet sekä laitteiden ominaisuudet määrittävät onko laitteiden uusimisella nostava vai laskeva vaikutus käyttö- ja hoitokuluihin. Laitevalintojen hajonnan sekä kiinteistöjen erilaisten tarpeiden takia käyttö- ja huoltokuluja ei tarkastella tässä tutkimuksessa enempää.

Rakennukseen tehtävä merkittävä remontti saattaa vaikuttaa kiinteistöveroon nostavasti. Koska kiinteistövero maksetaan prosenttiosuutena kiinteistön arvosta, kiinteistön arvoa nostava remontti nostaa myös kiinteistöveroa. Vero määritetään erikseen maapohjalle sekä tontilla oleville rakennuksille. Maapohjan osalta kiinteistövero on kunnasta riippuen 0,80 – 1,55 % maapohjan arvosta. Maapohjan arvoon vaikuttaa kiinteistön sijainti sekä kaava. Verohallinnon päätöksellä verotusarvo on 75 % maan käyvästä hinnasta. Vakituiseen asuinkäyttöön tarkoitettun rakennuksen kiinteistövero on kunnasta riippuen 0,37 – 0,80 % rakennuksen arvosta. Rakennukset arvostetaan jälleenhankinta-arvon mukaan, missä arvo vastaa vastaavan rakennuksen uudisrakentamisen todennäköisiä kustannuksia. Jälleenhankinta-arvosta tehdään ikäalennuksia rakennuksen kulumisen myötä jäljellä olevan käyttöiän mukaan. Asuinrakennuksen käyttöiän lopussa rakennuksen arvon katsotaan olevan kuitenkin aina vähintään 30 %. Mikäli rakennusta remontoidaan merkittävästi ja rakennuksen käyttöikä kasvaa, ikäalennus laskee. Perusparannuksen tekeminen voi siis nostaa kiinteistöveroa rakennuksen osalta yli kolminkertaiseksi. Perusparannus tehdään kuitenkin usein pakon sanelemana, eikä vaihtoehtoja juuri ole. (Verohallinto 2015)

Energiansäästötoimenpiteillä voidaan vaikuttaa erityisesti lämmityskuluihin, jotka muodostavat merkittävän osan kiinteistönhoitokuluista. Lämmityksen säästöpotentiaalia tarkastellaan luvussa 3.1. Vesi- ja jätevesikulu on verrattain pieni, koska se sisältää vain kylmän veden ja jäteveden osuuden. Veden kulutus vaikuttaa kuitenkin huomattavasti kiinteistön energialaskuun, sillä suuri osa käytetystä vedestä on lämmintä vettä. Veden säästöpotentiaalia tarkastellaan luvussa 3.1.3. Sähkötekniisiä järjestelmiä vaihtamalla vähemmän kuluttaviin saadaan säästettyä energiaa. Sähkön säästöpotentiaalia on tarkasteltu luvussa 3.2.

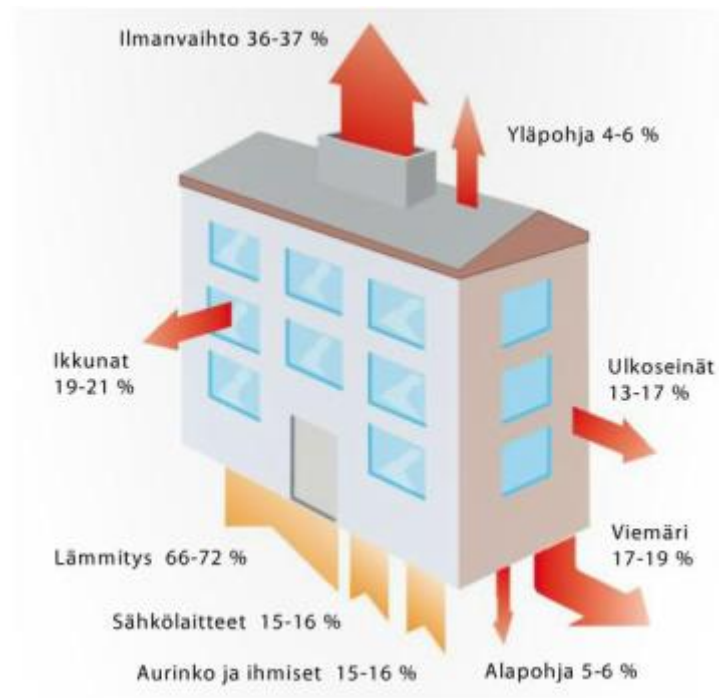
3.1 Lämmitys

Lämmitysenergian kulutuksen peruseriaate on esitetty Kuva 5. Kuvan vasen reuna esittää ostetun energian määrää ja kaaviosta poistuvat nuolet esittävät energiahäviöitä. Kuvassa Kuva 5 esitetyt prosenttiosuudet ovat peräisin useasta eri lähteestä ja ne ovat karkeita arvioita suuruusluokasta.



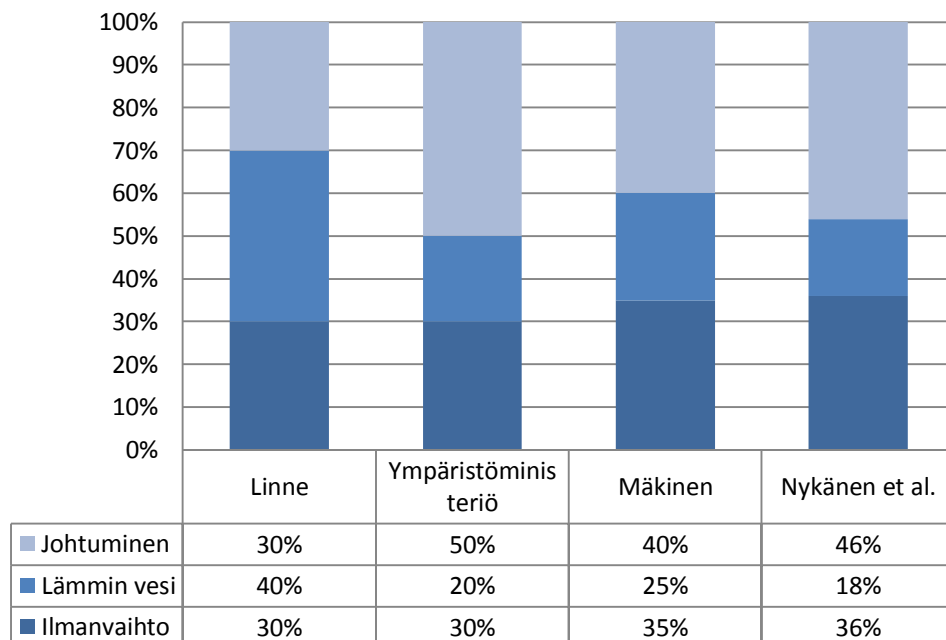
Kuva 5. Rakennuksen ostoenergian ja lämpöhäviöiden suhde (Sovellettu lähteestä Virta & Pylsy 2011).

Tilojen lämmitys ei koostu vain lämpöpattereiden hohkaamasta lämmöstä vaan lisäksi tiloja lämmittävät auringonvalo, ihmiset ja sähkölaitteista purkautuva lämpö. Lisäksi lämmitettävän tilan energiantarpeeseen on laskettu mukaan lämmin käyttövesi. Tilaan tuotu lämmitysenergia poistuu rakennuksesta johtumalla vaipan kautta sekä kuljettumalla ilmanvaihdon ja viemärien kautta. Kuva 6 esittää yleisen mallin, miten lämpöhäviöt jakautuvat eri rakennuksen osille 1960- ja 1970 – lukujen asuinkerrostaloissa.



Kuva 6. Energiankulutuksen jakautuminen kerrostalossa (Nykänen et al. 2013)

Nykäsen et al. (2013) mallissa lämmitys kattaa energiantarpeesta kaksi kolmasosaa. Sähkölaitteet ja ilmaisenergiat kattavat kumpikin noin kuudenneksen. Merkittävimmät lämpöhäviöt ovat kohdistuvat ilmanvaihtoon, ikkunoihin, viemäriin ja ulkoseiniin. Kuva 7 esittää muiden tutkimusten mukaisia tuloksia lämmöntarpeen jakautumisesta.



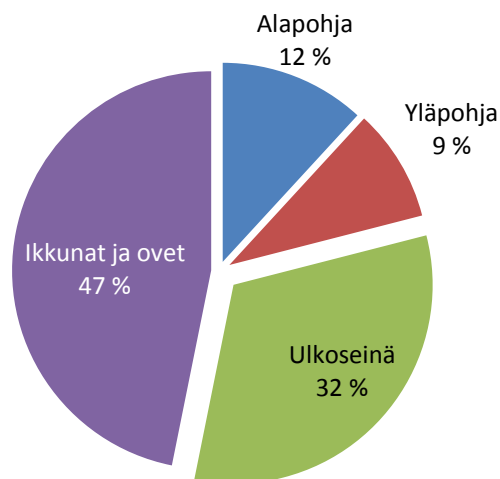
Kuva 7. Energiankulutuksen jakautuminen eri järjestelmille (Boström et al. 2012, Ympäristöministeriö 2015, Nykänen et al. 2013; Mäkinen 2015)

Linneen (Boström et al. 2012) tutkimuksessa painottuu lämpimän veden osuus energiankulutuksessa. Sen sijaan muissa tutkimuksissa vaipan osuus energiankulutuksesta on suurempi. Ilmanvaihdon osuus on kaikissa tutkimuksissa noin kolmanneksen luokkaa. Boström et al. (2012) huomauttaa, että rakennuksen ominaisuuksilla on suuri vaikutus energiahäviöiden jakautumiseen. Mikäli vaipan lämmöneristys on erityisen huono, sen energiankulutus suhteessa muihin on suurempi.

Energiansäästöpotentialiaali ja siten rahallinen säästöpotentialiaali on oletettavasti sitä suurempi mitä enemmän rakennusosa kuluttaa energiaa. Erilaiset energiansäästötoimenpiteet ovat kuitenkin hyvin erihintaisia, joten energiankulutuksen jakautumisesta ei voida suoraan päätellä energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta. Seuraavaksi tarkastellaan eri rakennusosien ja järjestelmien säästöpotentialiaaleja.

3.1.1 Johtuminen

Johtumisen energiankulutus jakautuu alapohjan, yläpohjan, ulkoseinän sekä ovien ja ikkunoiden kautta tapahtuviin lämpöhäviöihin. Boströmin et al. (2012) tutkimuksessa selvitettiin johtumishäviöiden jakautumista Case-kohteissa. Osuudet vaihtelevat jonkin verran kohteesta riippuen. Selvät kategoriset erot on kuitenkin havaittavissa myös muissa tutkimuksissa (Virta & Pyly 2011; Mäkinen 2015, Ympäristöministeriö 2015, Nykänen et al. 2013). Kuva 8 esittää karkeasti johtumishäviöiden jakautumisen.



Kuva 8. Johtumislämpöhäviöiden osuudet rakennusosittain. (Muokattu lähteestä Boström et al. 2012)

Ikkunoiden osuus vaipan johtumishäviöistä on merkittävin ja ulkoseinä toiseksi suurin. Yläpohjan ja alapohjan lämpöhäviöt ovat karkeasti samaa luokkaa. Taulukko 2 on esitetty vaipan osien lämmönläpäisykertoimien kehitys Suomessa.

Taulukko 2. Rakennusten lämmönläpäisykerroinvaatimusten kehitys Suomessa. (Vinha 2013)

Vuosi	1962	1969	1976	1978	1985	2003	2007	2010	2012
Lähde	RIY A43	RIL 66	RakMk C3	RakMk C3	RakMk C3	RakMk C3	RakMk C3	RakMk C3	RakMk D3
Ulkoseinä	0,70	0,70	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Yläpohja	0,47/0,41	0,47/0,41	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Alapohja	0,47/0,42	0,47/0,42	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ikkuna	-	3,14-2,44	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00	1,00
Ovi	-	3,14-2,44	-	-	-	1,40	1,40	1,00	1,00

Lämmöneristysmääräykset ovat kiristyneet vuosien saatossa ja nykyinen lämmönläpäisykerroinvaatimus on murto-osa vuoden 1962 tasosta.

Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen suurin sallittu arvo on kolmasosa 1960-luvun kerrostalojen tasosta. Ikkunoiden lämpöhäviöt perustuvat johtumiseen, ilmavuotoihin sekä säteilyläpäisyyn. Ilmavuodot ovat tiivistevuotoja sekä huonosti sulkeutuvan vanhan ikkunan karmin ja puitteen välistä karkaavaa ilmaa. Osa lämmöstä haihtuu johtumalla lasipintojen läpi. Lisäksi ikkuna säteilee kylminä öinä lämpöä taivaalle. (Boström et al. 2012; Vinha et al. 2013) Nykyaikaisilla ikkunoilla voidaan vaikuttaa kaikkiin kolmeen lämpöhäviömuotoon. Nykäsen et al. (2013) mukaan energiansäästö on noin 15 % luokkaa. Energiansäästöt voivat todellisuudessa olla jopa laskennallisia säästöjä suurempia vähentäneiden tiiveys- ja vetohaittojen takia. Vedontunne nostaa sisälämpötilantarvetta ja ikkunaremontin jälkeen sisälämpötilaa voidaan laskea. Kurvisen et al. (2012) raportissa lähiökorttelikorjaamisen taloudellisesta päätöksenteosta ikkunoiden vaihtaminen nyky-määräysten mukaisiin oli kannattavien toimenpiteiden kärkipäässä jokaisessa kohteessa. Myös Heljon & Viholan (2012) mukaan ikkunoiden vaihtaminen on osoittautunut yhdeksi kannattavimmista energiansäästötoimenpiteistä.

Ulkoseinät

Ulkoseinien lämmönläpäisykertoimen vaatimustaso on kiristynyt neljäsosaan 1960-luvun tasosta. Ulkoseinän lämpöhäviöihin vaikuttaa pääasiassa ulkoseinän lämmöneristyskerroksen materiaali ja kerrospaksuus. Ulkoseinien pääasiallinen energiatehokkuustoimenpide onkin lisäeristäminen. Lisäeristysmenetelmiä on käsitelty tarkemmin luvussa 4.1.1. Ulkoseinien kautta häviää lämpöä johtumisen lisäksi ilmavuotojen kautta. Lisäeristäminen tukkii ilmavuotoja ja vedontunne asunnossa vähenee mahdollistaen sisälämpötilan laskemisen. Boströmin et al (2012) tutkimuksen mukaan julkisivun lisäeristämällä energiankulutusta pystytään laskemaan 12 – 16 %. Nykänen et al. (2012) toteaa raportissaan ulkoseinän lisälämmöneristämisen vähentävän jopa 21 % energiankulutusta. Energiansäästö ei kuitenkaan aina tarkoita, että hanke olisi taloudellisesti kannattava.

Yläpohja

Myös yläpohjan suurin sallittu lämmönläpäisykerroin on neljännes vuoden 1962 tasosta. Ulkoseinän tavoin yläpohjan lämmöneristävyyttä saadaan yleensä parannettua suurentamalla eristepaksuutta tai vaihtamalla eristemateriaali parempaan. Katon rakenne vaikuttaa yleensä merkittävästi yläpohjan lisäeristämisen kannattavuuteen. Jos yläpohjassa on riittävästi tuulettuvaa tilaa, eristeen lisääminen vanhan eristeen päälle on helppoa ja siten melko edullista. Muuten lisäeristäminen on kannattavaa vain vesikattoremontin yhteydessä. Yläpohjan eristämällä päästään noin 5 % energiansäästöihin. (Nykänen et al. 2013) Kattopinta-alan osuus koko vaipan pinta-alasta vaikuttaa yläpohjan eristämisestä saataviin energiansäästöihin. Vaikka rakennusosakohtainen energiansäästöpotentiali olisi suuri ja lisäeristäminen edullista, vaikutus kokonaisenergiesäästöön voi olla pieni.

Alapohja

Alapohjan lämmönläpäisykertoimessa on Taulukko 2 mukaan parantamisen varaa. Alapohjan lisäeristäminen tai massojen vaihto on kuitenkin yleensä toteutettavuudeltaan niin hankalaa, että sitä ei juurikaan tehdä. Suurin osa 1960 – 1980 –lukujen kerrostaloista on rakennettu maanvaraisesti. Sokkelia voidaan eristää seinän eristämisen yhteydessä mutta alapohjaa- ja perustuksia ei usein lisäeristetä. (Kouhia et al. 2010) Ryömintätilallisten rakennusten yhteydessä lisäeristäminen ja vanhojen rakenteiden korjaaminen on mahdollista.

3.1.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihto kuluttaa energiaa lähinnä siirtämällä lämmintä ilmaa rakennuksen ulkopuolelle. Tämän lisäksi ilman vaihtumista edistävät puhallin- ja imulaitteet kuluttavat sähköä. Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät jaetaan kolmeen eri ryhmään: Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä koneellinen tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmä.

Painovoimainen ilmanvaihto oli vallitseva järjestelmä 1960 – luvun alkuun asti. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilma vaihtuu ulko- ja sisäilman lämpötilaeron sekä tuulen aiheuttaman paine-eron vaikutuksesta. Painovoimaisen ilmanvaihdon ongelma on, ettei sitä voi juurikaan hallita sisäympäristön vaatimusten mukaan. Varsinkin kesällä ulko- ja sisälämpötilojen ollessa lähellä toisiaan ilman vaihtuvuus on hyvin vähäistä. Liian vähäinen ilmanvaihto nostaa tilan hiilidioksidipitoisuutta. Myös ilman kosteuspitoisuus nousee, mikä saattaa johtaa mikrobiongelmiin. Painovoimaisesta ilmanvaihdon poistoilmasta ei juurikaan saada lämpöä talteen. Energiansäästön näkökulmasta vaihtoehtona on muuttaa painovoimainen järjestelmä koneelliseksi poisto- tai tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmäksi (Virta & Pylsy 2011).

Koneellinen poistoilma oli vallitseva ratkaisu 2000-luvun alkuun asti, kunnes tulo-poisto järjestelmä syrjäytti sen. Koneellinen poistoilmanvaihto toimii asuinkerrostaloissa siten, että yksi yhteinen ilmanvaihtokone imee ilmaa ilmanvaihtokanavista. Ilmanvaihtokanavien suuaukot ovat usein huoneistojen kylpyhuoneissa, keittiöissä ja vaatehuoneissa. Korvausilma huoneistoon otetaan yleensä suoraan ulkoa korvausilmaventtiileiden tai ikkunankarmien kautta. Korvausilman on niin sanottua raakaa ulkoilmaa ja sen lämpötila ja kosteuspitoisuus riippuvat vuodenaikasta. Poistoilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan siten, että kaikki huoneistossa oleva ilma vaihtuu laskennallisesti kertaalleen kahdessa tunnissa.

Suurelta osin rakennusten koneelliset poistoilmanvaihtojärjestelmät ovat vanhanaikaisia ja lämmin huoneilma puhalletaan ulos ottamatta siitä lämpöenergiaa talteen. Lämmön talteenotto on kuitenkin mahdollista poistoilmalämpöpumpuilla, joissa poistoilman lämpöenergia siirretään esimerkiksi lämmönkeruunesteeseen. Poistoilmalämpöpumpulla pystytään yleensä kattamaan asuinkerrostalon lämmöntarpeesta 35-50 %. (Virta & Pylsy 2011) On hyvä muistaa, että ilmanvaihdon lämmöntarve on yleensä vain noin 33 % rakennuksen lämmöntarpeesta (Boström et al. 2012). Hyvä hyötysuhde perustuu poistoilmalämpöpumpun saamaan tasaiseen energianlähteeseen, kun huoneilman lämpötila on koko vuoden noin +21 °C. Kerätty lämpöenergia voidaan hyödyntää läpi vuoden muun muassa esilämmittämällä käyttövetä. (Motiva 2015)

Pelkällä koneellisella poistolla varustetussa ilmanvaihtojärjestelmässä raikkaan tuloilman saanti voi olla ongelmallista. Korvausilma imetään usein huoneeseen alipaineella hallitsemattomasti sieltä, mistä sitä helpoiten saadaan. Korvausilma voi tällöin tulla ikkunoiden ja parvekkeen ovien raoista ja karmiliitoksista tai porrashuoneesta. Ongelmina ovat ilman epäpuhtaudet ja epämiellyttävä lämpötila. Kylmä korvausilma aiheuttaa talvisin vedontunnetta, mikä lisää lämmityksen tarvetta. Ratkaisuna korvausilma voidaan johtaa esimerkiksi ikkunalasien kautta, jolloin ilma ehtii lämmetä ennen huoneeseen tulemistä. (Virta & Pylsy 2011)

Koneellisessa tulo-poistojärjestelmässä sekä tuloilma että poistoilma puhalletaan koneellisesti huoneistoon ja huoneistosta pois. Tällä ratkaisulla poistoilman lämpöenergia saadaan siirrettyä tuloilmaan. Rakentamismääräyskokoelman mukaan lämmön talteenoton hyötysuhteen tulee olla vähintään 45 %. (Ympäristöministeriö 2012). Koneellinen tulo-poistojärjestelmä on nykyään yleisin vaihtoehto uudisrakentamisessa 2000-luvun alussa tiukentuneiden rakentamismääräysten takia. Painovoimaisesta sekä koneellisesta poistoilmanvaihtojärjestelmästä on peruskorjausten yhteydessä siirrytty koneelliseen tulo-poistojärjestelmään sen ilmanlaadun hallittavuuden takia. Tehokas koneellinen tulo-poistojärjestelmä säästää lämmitysenergiaa mutta kuluttaa etenkin talvella suhteellisesti paljon sähköä. (Virta & Pylsy 2011)

3.1.3 Lämmin käyttövesi

Lämpimän veden kulutus kulkee käsi kädessä kokonaisvedenkulutuksen kanssa. Noin 40 % kaikesta kulutetusta vedestä on lämmintä vettä. Vedenkulutukseen luetaan kuuluvaksi kotitalouden käyttämä vesi, kuten peseytymiseen, ruoanlaittoon, pyykinpesuun ja WC:n huuhteluun käytetty vesi. Lämmityslaitteissa kiertävä vesi niputetaan lämmityksen energiankäytön alle. (Virta & Pylsy 2011)

Vedenkulutuksen keskiarvo asuinkerrostaloissa on noin 90 - 270 l/hlö/vrk ja keskimääräinen arvo on 155 l/hlö/vrk. (Motiva 2015) Vedenkulutukseen vaikuttavat merkittävästi rakennuksen ikä sekä asukkaiden kulutustottumukset. 1970 – luvun jälkeen vedenkulutus on laskenut 20%. (Ympäristöministeriö 2009) Uudemmissa rakennuksissa pienemmät putkistokoot, uudemmat vesikalusteet ja laitteet sekä oikein säädetyt painetasot säästävät vettä. Käyttötottumuksilla on myös suuri vaikutus vedenkulutukseen. Esimerkiksi suihkussa kuluu tavallisesti vettä 12 litraa minuutissa. 20 minuutin suihkuttelussa kuluu jo 240 litraa vettä, mikä on reilusti enemmän kuin keskimääräinen vedenkulutus vuorokaudessa henkilöä kohden. (Virta & Pylsy 2011) Vedenkulutusta saadaan vähennettyä oikein säädetyillä laitteilla ja järjestelmillä, nykyaikaisilla säästävillä vesikalusteilla, korjaamalla vuodot sekä vaikuttamalla kulutustottumuksiin tiedottamalla ja asuntokohtaisilla vesimittareilla. (Ympäristöministeriö 2009)

Veden lämmittämiseen kuluva energia on suoraan laskettavissa kaavalla

$$Q = \frac{\rho * c * V * \Delta T}{3600},$$

kun Q on energiamäärä kWh, ρ on veden tiheys [kg/m³], c on veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK], V on tilavuus [m³], ΔT on veden lämpötilan muutos [K] ja 1 kWh = 3,6 MJ.

Ympäristöministeriön työryhmän (2009) mukaan lämpimän veden tuottamisen järjestelmähäviöt lisäävät lämpöenergian kulutusta. Noin 60 % lämpimän veden lämpöenergiasta kulutetaan vesipisteissä ja 40 % kuluu lämpöhäviöinä esimerkiksi kosteiden tilojen lämmittämiseen.

3.2 Sähkö

Asuinkerrostalon sähkönkulutus riippuu paljon sähkölaitteiden ominaisuuksista, säädöistä sekä käytöstä. Sähkölaitteiden määrä ja ominaisuuksien kirjo on kasvanut moninkertaiseksi 1900-luvun alusta. Erilaiset kodinkoneet sekä viihde-elektroniikka ovat lisääntyneet viime vuosikymmeninä huomattavasti. Myös kiinteistökohtaiset järjestelmät, kuten ilmanvaihto- ja lämmityslaitteet, ovat kehittyneet ja tulleet monimuotoisemmiksi ja tehokkaammiksi. (Virta & Pylsy 2011)

Nykyään sähkölaitteiden energiatehokkuuteen kiinnitetään huomiota ja pääsääntöisesti uudet laitteet ovat monin kerroin vanhanaikaisia laitteita energiatehokkaampia, kuten esimerkiksi televisiot ja kylmäkoneet. Samanaikaisesti ihmisten kulutustottumukset ovat kuitenkin muuttuneet siten, että viihde-elektroniikkaa ja internetiä käytetään pidempiä aikoja. Rouhiainen et al. (2013) kertoo tutkimusraportissaan, että vuonna 2011 tietokoneiden keskimääräiset käyttöajat olivat kaksinkertaisia vuoteen 2006 verrattuna. Erilaisia sähkölaitteita myös hankitaan enemmän samaan talouteen, jolloin sähkönkulutus kasvaa. Energiatehokkuuden ja sähkölaitteiden kasvavan käytön seurauksena sähkön kokonaiskulutus on maltillisessa kasvussa. (Rouhiainen et al. 2013)

Sähkön kulutus jaetaan asuinkerrostaloissa karkeasti kahteen ryhmään: Huoneistosähkön ja kiinteistösähkön. Huoneistosähkön huoneiston asukkaat tilaavat tavallisesti itse sähköyhtiöiltä. Sen piiriin kuuluvat kaikki huoneistossa käytössä olevat sähkölaitteet, kuten liesi, jääkaappi, televisio, valaistus tai kylpyhuoneen sähköinen lattialämmitys. Virran & Pylsyn (2011) mukaan kolmen asukkaan 75 m² huoneistossa keskimääräinen sähkönkulutus on 2550 kWh vuodessa.

Kiinteistösähkön asuinkerrostalon asukkaat maksavat yhdessä vastikkeen tai vuokran yhteydessä. Kiinteistösähkoon kuuluvat kaikki yleisten ja yhteisten tilojen sähkölaitteet, kuten puhaltimet ja pumput, valaistus, talosaunat ja – pesulat, hissit sekä kylmätilojen ja kuivaushuoneiden laitteet. 1960-1980 – luvun asuinkerrostalossa kiinteistösähkönkulutus on 9 – 22,5 kWh/asm² vuodessa. (Virta & Pylsy 2011) Kolmen hengen 75 m² huoneistolle kohdennettuna kiinteistösähkönkulutus on 675 – 1687,5 kWh vuodessa. Huoneistosähkön osuus yhdelle asunnolle kohdistetusta sähköenergiankulutuksesta on siten noin 70 % luokkaa ja kiinteistösähkön osuus karkeasti 30 %.

Sähköenergiakustannuksiin voidaan vaikuttaa laitevalinnoilla sekä käytöllä ja säädöillä. Huoneistosähkönkulutusta voidaan säästää energiatehokkailla laitteilla sekä opastamalla asukkaita käyttämään sähkölaitteita säästävaisesti. Rouhiaisen et al. (2013) tutkimuksen mukaan suurin huomio tulisi keskittää lattialämmityksen ja ilmanvaihdon energianeuvontaan. Lisäksi huoneistokohtainen sähkölasku motivoi asukkaita säästötoimissa. Kiinteistösähköä voidaan säästää säätämällä valaistusta hämäräkytkimillä tai liiketunnistimilla, tehostamalla ilmanvaihtoa tarpeen mukaan ja rytmittämällä talosaunan käyttö järkevästi.

3.3 Energiankulutuksen laskenta

Rakennuksen energiankulutusta voidaan tarkastella laskennallisesti monella eri tavalla ja monesta eri näkökulmasta. Green Building Council Finland (Kotilainen 2013) tarjoaa harmonisoidun mittariston, jolla huomioidaan rakennuksen todelliset ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Rakentamismääräyskokoelman (Ympäristöministeriö 2012) määräämän laskentatavan mukaan rakennuksen energiankulutukseen huomioidaan suo-

ran kulutuksen lisäksi käytetyn energiamuodon aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Päämäärinä energiamuotojen kertoimilla on suora yhteys hiilidioksidipäästöihin. (Perustelu-
muistio D3 2013) Kiinteistön omistajaa saattaa kiinnostaa ostoenergiankulutus tai hyö-
dyksi saadun lämmitysenergian määrä ja asukkaalle energialaskelmaksi saattaa riittää
vain oma sähkölasku. Myös laskelmien tarkkuudet vaihtelevat. Joskus riittää karkea tar-
kastelu yleisellä tasolla ja toisinaan halutaan tehdä rakennuksen energiankulutuksesta si-
mulaatio huoneisto- ja vuorokausitarkkuudella.

Tutkimuksessa keskitytään 1960 - 1980 – lukujen asuinkerrostalojen energiatehokkaa-
seen korjaamiseen kiinteistönomistajan näkökulmasta. Kiinteistönomistajan oletetaan
olevan kiinnostunut lähinnä energiankulutuksen taloudellisesta puolesta eikä niinkään
ekologisuudesta. Koska rakentamismääräyskokoelman E-lukulaskenta ohjaa rakenta-
mista ekologiseen suuntaan taloudellisen tehokkuuden sijaan, E-lukulaskentaa ei voida
sellaisenaan soveltaa kiinteistönomistajan energialaskennaksi. Kiinteistönomistajan kan-
nalta relevanttia on selvittää, mitkä rakennusosat ja järjestelmät hukkaavat energiaa.

3.3.1 U-arvolaskenta

Vaipan rakennusosien osalta energialaskenta suoritetaan perinteisellä tavalla lämmönlä-
päisyä tarkastelemalla. Lämpöenergian kulutukseen vaikuttavat ulko- ja sisälämpötilan
erotus, rakennusosan pinta-ala sekä lämmönläpäisykerroin eli U-arvo. U-arvo ja raken-
nusosan pinta-ala ovat rakennuksen ominaisuuksia ja saatavissa suunnitteluasiakirjoista.
Energiankulutuksen laskentaan tarvittava ulko- ja sisätilan lämpötilaero on saatavissa Il-
matieteen laitoksen lämmitystarvelukutilastosta. Lämmitystarveluku ilmaisee lämpötila-
eron ulkoilman ja sisäilman välillä, kun sisäilman lämpötila on 17 °C. Sisäilma lämmitetään
17 °C lämmitysjärjestelmän laitteilla ja todelliseen sisäilman lämpötilaan päästään
ihmisistä, sähkölaitteista ja auringosta tulevilla lisäenergioilla. Lämmitystarvelukutilas-
tossa oletetaan myös, että lämmitys lopetetaan keväällä, kun keskilämpötila on yli +10 °C
ja se aloitetaan taas, kun syksyllä keskilämpötila laskee alle +12 °C asetetta. (Motiva
2015)

Rakenteiden läpi johtuvan energian määrä saadaan laskettua kaavalla

$$Q_{\text{johtuminen}} = U_i * A_i * Kd * \frac{24}{1000},$$

jossa Q on rakenteen läpi johtunut lämpöenergian määrä [kWh], U on rakennusosan U-
arvo [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$], Kd on lämmitystarveluku [K^*d] ja $24/1000$ kerroin, joka muuttaa vuoro-
kaudet tunneiksi sekä tehon kilowatteiksi. (Ympäristöministeriö D5 2012)

Lämmitystarvelukuna käytetään paikkakuntaakohtaista niin kutsutun normaalivuoden tai
vertailukauden lämmitystarvelukua, joka vastaa vuosien 1981 – 2010 keskimääräistä läm-

mitystarvelukua. Näin saadaan luotettava keskimääräinen käsitys siitä, paljonko rakenteiden läpi johtuu energiaa. Tämä mahdollistaa eri rakennusosien laskennallisen testaamisen ja energiasäästöjen laskennan.

3.3.2 Ilmavuodot

Ilmavuodot otetaan huomioon rakentamismääräyskokoelman D5 määräämällä tavalla (Ympäristöministeriö D5 2012). Vuotoilman energiankulutus lasketaan kaavalla

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * \frac{q_{50} * A_i}{3600 * x} * Kd * \frac{24}{1000},$$

jossa $Q_{vuotoilma}$ kertoo vuotaneen ilman energiamäärän [kWh], ρ_i on ilman tiheys 1,2 kg/m³, c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 J/(kg*K), q_{50} on vaipan ilmanvuotoluku, A_i on vaipan pinta-ala, kerroin 3600 muuttaa ilmavirran m³/h yksiköstä m³/s yksiköön, Kd on normaalivuoden lämmitystarveluku ja kerroin 24/1000 muuttaa lämmitystarveluvun vuorokaudet tunneiksi ja tehon yksikön kilowateiksi. Kerroin x riippuu rakennuksen korkeudesta siten, että yksikerroksisille $x=35$, kaksikerroksisille $x=24$, kolmi- ja nelikerroksisille $x=20$ ja viisikerroksisille tai sitä korkeammille $x=15$.

Ilmavuotoluku q_{50} raja-arvot ovat:

- > 4, sallittu vain poikkeustapauksissa.
- ≤ 4, minimivaatimus uudisrakennuksille. Tätä käytetään laskennassa, mikäli ilmanvuotolukua ei mitata.
- < 1, määräysten suositusarvo.

Aikaisemmin ilmanvuotoluku esitettiin n_{50} muodossa, joka saadaan muutettua q_{50} muotoon oheisen kaavan avulla:

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V,$$

Ennen vuotta 2003 ilmanvuotolukuvaatimus oli $n_{50} < 6$, 2003 – 2012 ilmanvuotolukuvaatimus oli $n_{50} < 4$ ja vuoden 2012 jälkeen vaatimus on ollut $q_{50} < 4$.

Taulukko 3 esittää Rakentamismääräyskokoelman D5 (2012) yleisiä arvoja ilmanvuotoluvulle.

Taulukko 3. Ilmanvuotoluvun yleisiä arvoja

Ilmanpitävyyden taso	n_{50} -luku [1/h]	q_{50} -luku [m ³ /h m ²]	Selite
----------------------	----------------------	--	--------

Hyvä	Pientalo 1...3 Kerrostalo 0,5...1,5	Pientalo 1...3 Kerrostalo 1...4	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen kiinnitetty erityistä huomiota.
Keskimääräinen	Pientalo 3...5 Kerrostalo 1,5...3	Pientalo 3...5 Kerrostalo 4...8	Ilmanpitävyys huomioitu tavanomaisesti.
Heikko	Pientalo 5...10 Kerrostalo 3...7	Pientalo 5...10 Kerrostalo 8...20	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota.

3.3.3 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon laskentaperiaate on hyvin samanlainen vuotoilman kanssa: Paljonko ilmaan sitoutuu lämpöenergiaa. Poistuneen ilman energiamäärä lasketaan kaavalla

$$Q_{iv} = t_d * t_{vk} * \rho_i * c_{pi} * \frac{n_{iv} * V_i}{3600} * Kd * \frac{24}{1000},$$

jossa Q_{iv} kertoo poistuneen ilman energiamäärän [kWh], t_d on ilmanvaihdon käyntisuhde h/24h, t_{vk} on ilmanvaihdon käyntisuhde vrk/7vrk, ρ_i on ilman tiheys 1,2 kg/m³, c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 J/(kg*K), n_{iv} ilmoittaa, montako kertaa tunnissa rakennuksen ilma vaihdetaan, V_i on rakennuksen tilavuus, kerroin 3600 muuttaa ilmavirran m³/h yksiköstä m³/s yksikköön, Kd on normaalivuoden lämmitystarveluku ja kerroin 24/1000 muuttaa lämmitystarveluvun vuorokaudet tunneiksi ja tehon yksikön kilowateiksi. Rakentamismääräyskokoelman D2 mukaan ilmanvaihtokertoimen n_{iv} tulee olla vähintään 0,5 1/h eli ilmaa tulee vaihtua koko rakennuksessa vähintään kerran kahdessa tunnissa. (Ympäristöministeriö D2 2012)

Ilmanvaihdon energiankulutuksen yhteydessä tulee tarkastella lämmön talteenottoa. Lämmöntalteenotto ilmoitetaan yleensä prosentuaalisena hyötysuhteena, joten lämmöntalteenotto voidaan huomioda energiankulutuksessa yksinkertaisena prosenttilaskuna.

$$Q_{iv,LTO} = Q_{iv} * (1 - r),$$

kun r on lämmöntalteenoton hyötysuhde.

Lisäksi ilmanvaihdon energiankulutukseen vaikuttaa ilmanvaihtolaitteiden sähkönkulutus.

3.3.4 Sähkö

Sähkölaitteiden energiankulutus on yksinkertaistettuna suoraan verrannollinen sähkölaitteiden toiminta-aikaan. Näin ollen sähkölaitteiden osalta ei tarvita erillistä energialaskentaa vaan sähkölaitteiden energiankulutusta arvioidaan laitteita ja järjestelmiä vertaamalla. Sähkölaitteiden energiasäästöjä käsiteltiin luvussa 3.2.

4. KORJAUSTOIMINTA

Laaja korjaaminen on huomattavasti monimutkaisempaa ja usein myös kalliimpaa kuin uuden rakentaminen. Vanhaa korjattaessa sovelletaan ratkaisuja, jotka sopivat juuri kyseiseen kohteeseen. Ehjää ei kannata korjata, joten ennen korjaustoimenpiteitä tulee tarkasti selvittää kuntotutkimuksin, mitä tarvitsee korjata ja missä laajuudessa. Korjauksia voidaan yleensä lykätä, jos korjaustarve on vähäinen eikä aiheuta haittaa muille rakenteille tai yleiselle turvallisuudelle. Vasta kuntotutkimuksen perusteella voidaan tehdä päätöksiä korjaamisen laajuudesta ja vaihtoehdoista. (Kaivonen et al. 1994, s.270) Korjaustoiminnan kustannukset määräytyvät karkeasti laajuus- ja laatutason perusteella. Varsinainen suunnitteluratkaisu ja toimenpiteiden valinta on iteratiivinen prosessi, jossa otetaan huomioon korjaamisen tekninen tarve sekä rakennuksen arkkitehtuuri. Energiatehokkuus on yksi kriteeri muiden joukossa. (Lappalainen 2012)

Luvussa 4 korjaustoimenpiteitä tarkastellaan niiden toteutuksen, soveltuvuuden, käytönsä sekä kustannusten osalta. Lisäksi korjaustoimenpiteiden kohdalla on käsitelty, miten toimenpide vaikuttaa energiankulutukseen. Toimenpiteiden kustannusten selvittämiseen on käytetty Rakennustieto Oy:n kustantamaa Korjausrakentamisen kustannuksia 2015 kirjaa sekä Haahtela-kehitys Oy:n kustantamaa Talonrakennuksen kustannustieto 2014 kirjaa. Lisäksi kustannusten todenmukaisuutta on pyritty parantamaan kyselemällä eri rakennusalan toimijoilta kokemuksia kustannuksista.

4.1 Rakennuksen vaippa

Rakennuksen vaipparakenteita ovat ulkoseinät, ikkunat ja ovet sekä yläpohja. Alapohjan korjaamisen yhteydessä tehtäviä energiatehokkuustoimenpiteitä ei ole tarkasteltu, sillä ne on todettu useissa tutkimuksissa hankaliksi ja epätaloudellisiksi. (Boström et al. 2012, Heljo & Vihola 2012, Kouhia et al. 2010). Soveltuvien osien ulkoseinien korjaus menetelmiä sovelletaan myös sokkelin korjaamiseen. Jokaisen rakennusosan yhteydessä on käsitelty yleisimmät 1960 ja 1970 –lukujen asuinkerrostalojen korjaamisen toimenpidevaihtoehdot.

4.1.1 Ulkoseinä

1960 – luvulta lähtien betoni julkisivumateriaalina syrjäytti tiilimuurauksen. Tyypillinen betonijulkisivurakenne koostuu betonisesta sisäkuoresta, jonka ulkopuolelle on kiinnitetty lämmöneristekerros. Lämmöneristeen päälle asennettava ulkokuori saattoi 1960 – luvun alkuaikoina olla tiiliverhous, mutta elementtiteollisuuden myötä myös ulkoverhousmateriaaliksi vakiintui betoni. Betonirakenteisen julkisivun sisäkuoren paksuus vaihtelee tyypillisesti 70 – 150 mm välillä riippuen siitä, onko julkisivu kantava rakenne.

Lämmöneristeen materiaali ja kerrospaksuus riippuvat rakennusvuodesta: 1960 – luvulla eristekerros oli usein alle 100 mm ja materiaali vaihteli mineraalivillasta korkkiin. Nykyaikavaihtumusten mukaan mineraalivillaa voidaan tarvita jopa 240 mm. (Betoniteollisuus ry 2010)

Betonijulkisivut jaotellaan yleensä kahteen luokkaan ulkokuoren kiinnitysmekanismin mukaan: Kuorielementteihin ja sandwich-elementteihin. Kuorielementti on 60 – 120 mm paksu betonielementti, joka kiinnitetään yleensä jälkikäteen sisäkuoreen lämmöneristekerroksen läpi. Kuorielementin ja lämmöneristeen väliin voidaan tällöin jättää ilmarako. Toinen rakennetyyppi on sandwich-rakenne, jossa sisäkuori, eristekerros ja ulkokuori muodostavat yhden elementin. Tuuletusrakoa ei yleensä ole, mutta lämmöneriste voidaan urittaa osittaisen tuuletuksen aikaansaamiseksi. Sandwich-elementti voidaan nostaa paikalleen ja asentaa yhtenä kappaleena. (Suomen betoniyhdistys ry 2013) Betonirakenteisen ulkokuoren korjaamiseen on kehitetty erilaisia menetelmiä, jotka on tässä jaettu pinnoitus- ja paikkauskorjauksiin, peittäviin korjauksiin sekä purku- ja uudelleenverhouskorjauksiin.

Pinnoitus- ja paikkauskorjaus

Pinnoitus- ja paikkauskorjauksilla tarkoitetaan säilyttäviä korjaustapoja, joissa vanhan rakenteen ominaisuuksia ei olennaisesti muuteta. (Haukijärvi 2005a) Pintakäsittely ei yleensä korjaa rakenteellisia vaurioita, mutta sillä pyritään pysäyttämään vaurioitumisen eteneminen. (Varjonen et al. 2006)

Kevyistä pinnoitus- ja paikkauskorjauksista käytetään yleensä nimitystä huoltomaalaus ja perusteellisempaa korjausta kutsutaan laastipaikkaukseksi. Huoltomaalauksissa pintakäsittely uusitaan ja tehdään suppeita paikkauksia. Vanhan pinnoitteen poistaminen ei ole välttämätöntä, mutta se parantaa uuden pinnoitteen kiinnittymistä. (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002) Perusteellisella pinnoitus- ja paikkauskorjauksella tarkoitetaan korjaustapaa, jossa olemassa olevan julkisivun paikalliset korroosio- ja rapautumisvauriot puhdistetaan ja paikataan laastilla. (Kaivonen et al. 1995) Perusteellisessa korjauksessa etsitään myös piilossa olevat vauriokohdat. Teräkset piikataan esiin ja suojataan. Pakkasrapautunut betoni poistetaan ehjään betoniin asti. (Haukijärvi 2005a)

Kohteen vaurioitumisasteesta riippuen pinnoitus- ja paikkauskorjaus saattaa olla kevyt ja edullinen toimenpide. Pitkälle edenneiden vaurioiden ja laajojen pinta-alojen korjaaminen laastipaikkausmenetelmällä voi olla hyvin raskas menetelmä (Varjonen et al. 2006) ja muut korjausvaihtoehdot voivat kustannussyistä olla kannattavampia vaihtoehtoja (Suomen Betoniyhdistys ry. 2002). Pinnoitus- ja paikkauskorjauksien haasteellisuutta kasvattavat pieni suojabetonipeite, terästen ruostumisen laajuus, pakkasrapautuminen, mikrobivauriot, betonin kloridipitoisuus, betonin karbonatisoituminen, betonipinnan erikoinen muotoilu sekä muu julkisivun monimuotoisuus. Säilyttävillä korjauksilla pyritään yleensä jatkamaan käyttöikää noin 15 – 20 vuotta. Huolellisella laastipaikkauksella sekä

suojaavilla pinnoitteilla voidaan saavuttaa myös 30 – 40 vuoden käyttöikä. (Lahdensivu 2010)

Huoltomaalaus maksaa puhdistuksen kanssa noin 20 – 30 €/seinä-m² ja laastipaikkaus 40 – 80 €/seinä-m². Rakennuksen koosta ja muodosta sekä ulkoseinän kunnosta riippuen pinnoitus- ja paikkauskorjaus maksaa yleensä 20 – 150 €/h-m². Tätä kalliimpien paikkausremonttien kohdalla siirrytään usein muihin vaihtoehtoihin.

Pinnoitus- ja paikkauskorjausten yhteydessä rakennuksen energiatehokkuuteen vaikutetaan lähinnä vaipan tiiveyttä parantamalla. Korjaustoimenpiteen vaikuttavuutta voi arvioida ilmanvuotoluvun yleisiin arvoihin liittyvän taulukon Taulukko 3 perusteella.

Peittävät korjaukset

Peittämissä korjauksissa olemassa oleva julkisivu peitetään uudella pintaverhouksella. Peittäviä korjauksia käytetään yleensä silloin, kun korroosio- tai rapautumisvaurioiden laajuuden takia laastipaikkaus ei ole taloudellisesti järkevää. Uuden julkisivuverhouksen ja lisätyn eristekerroksen on tarkoitus vähentää olemassa olevan rakenteen kosteus- ja lämpötilarasituksia, jolloin rapautuminen pysähtyy ja korroosio hidastuu merkittävästi. Samalla kun lisäeriste suojaa vanhaa rakennetta vaurioitumiselta, se parantaa myös energiataloutta ja asumisviihtyvyyttä. Vanhaa julkisivua ei yleensä tarvitse purkaa eikä olemassa olevia vaurioita korjata. Purkamista ja korjaamista voidaan harkita pitkälle vaurioituneiden rakenteiden kohdalla, jotka eivät kestä uuden verhouksen asentamisen aiheuttamia rasituksia. Vanhaa ulkokuorta voidaan vahvistaa esimerkiksi pulttaamalla se kiinni sisäkuoreen. (Suomen betoniyhdistys ry 2002; Haukijärvi 2005b) Uusi julkisivuverhous aiheuttaa lähes aina muutoksia ikkuna- ja oviliittymissä sekä räystäiden muotoilussa. (Pentti et al. 1998) Peittävien korjausten käyttöikä on usein 30-50 vuotta tai enemmän. (Varjonen 2006) Tavanomaisimmat betonijulkisivun peittävät korjaustavat ovat eristerappaus, levyverhous, muuraaminen sekä kuorielementit.

Eristerappaus

Eristerappauksessa vanhan ulkokuoren päälle asennetaan lämmöneristekerros, jonka päälle tulee rappauskerrokset. Valmis eristerappaus on siisti ja saumaton julkisivu. Eristerappaus on tuulettumaton rakenne, jossa ei ole erillistä tuuletusväliä. Tällöin kuivuminen tapahtuu hiljalleen rakenteen ulkopinnan läpi. Rappauskerroksen tulee päästää eristettilassa oleva kosteus kuivumaan rappauksen läpi mutta toisaalta estää sadeveden pääsy rappauksen taakse. Sadeveden tunkeutumisen estämiseksi rakenteen tulee olla saumaton ja liitoskohdat täytyy suunnitella ja toteuttaa tarkasti. (Haukijärvi 2005b) Rappauksen halkeilu aiheuttaa merkittävän riskin rakenteen toimivuudelle.

Eristerappaus toteutetaan kolmikerrosrappauksena tai ohutrappauksena. Kolmikerrosrappauksessa lämmöneristeen päälle asennetaan ohut teräsverkko, joka toimii rappauksen kiinnitysalustana. Rappaus tehdään kolmena kerroksena ja rappauksen kokonaispaksuus

on noin 30 mm. Ohutrappauksessa kiinnitysverkkona toimii lasikuituverkko ja rappauksen vahvuus on vain noin 5 mm luokkaa. Kolmikerrosrappaus on työläämpi mutta kestää mekaanista rasitusta ohutrappausta paremmin. Koska ohutrappauksen kuori on verrattain heikko, lämmöneristeenä pitää käyttää EPS-eristeitä tai kovia mineraalivilloja. (Haukijärvi 2005b) Rappauksen takana oleva eriste ei ime kosteutta eikä tasaa lämpötilavaihteluita, joten molemmissa rakennetyypeissä rappauspinnan rasitusolot ovat ankarat. (Vinha 2014)

Levyverhous

Levyverhouksessa vanhan ulkokuoren päälle asennetaan lämmöneristekerros sekä levyverhouksen runkoranka. Levyverhous asennetaan kiinni rankoihin siten, että verhouksen ja eristeen väliin jää tuuletusrako. Rankarakenne voi olla järjestelmästä riippuen puuta, sinkittyä terästä tai alumiinia. (Jukkola et al. 1997) Liitokset ja yksityiskohdat on suunniteltava ja toteutettava siten, että veden pääsy verhouksrakenteen taakse pyritään estämään. Julkisivun suunnittelussa tulee kuitenkin aina olettaa, että verhouksen taakse pääsee vuotoja ja rakenne on suunniteltava siten, että vesi pääsee poistumaan rakenteesta. (Pentti & Hyypöläinen 1999)

Levyvaihtoehtoja on lukuisia ja niiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Yleisimpiä käytettyjä järjestelmiä ovat kuitusementtilevyt, komposiittilevyt, metallilevyt ja –kasetit, tiili- ja keraamilaattapintaiset levyt, betonilaatat ja rapattavat levyt. Kaikilla levyverhouksjärjestelmillä julkisivusta saadaan hyvin ilmeikäs. Metalliverhouksilla korostuu oikein pinnoitettuna hyvä säänkesto. Levyverhouksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon levyjen lämpöliikkeet, mitkä usein rajoittavat levyjen kokoa. Levyjärjestelmillä ei ole pitkäaikaiskestävyyden puitteissa merkittäviä eroja, joten järjestelmän valinnassa painottuvat esteettiset vaatimukset. (Haukijärvi 2005b)

Kuorielementit

Levyverhouksen sijaan joskus rakennus halutaan verhota uusilla kuorielementeillä. Kuorielementit ovat raskaita 50-120 mm paksuja betonielementtejä, jotka kannatetaan omilla perustuksilla tai tuetaan olemassa olevaan ulkoseinärakenteeseen. Vanha ulkokuori on usein liian ohut ja heikko kannattelemaan raskaita uusia kuorielementtejä, joten kuorielementit tuetaan yleensä sisäkuoreen asti. Kuorielementtien alle asennetaan lämmöneristys, joka pysäyttää alla olevan rakenteen vaurioitumisen. Kuorielementti toteutetaan tuulettavana rakenteena. (Haukijärvi 2005b)

Painonsa takia uudet kuorielementit ovat verhoukskorjauksena varsin harvoin käytetty tapa. Sen sijaan purku- ja uudelleenverhoukskorjausten yhteydessä kuorielementti on käytetympi menetelmä. Kuorielementillä pystytään säilyttämään vanhan rakennuksen ulkonäkö. (Haukijärvi 2005b) Kuorielementtiverhous on hyvin pitkäikäinen ja sen mitoitettu käyttöikä on vähintään 50 vuotta. (Pentti et al. 1999)

Muuraus

Vanha ulkoverhous voidaan peittää muuraamalla. Tiilimuuri tehdään tuulettuvana rakenteena ja sidotaan lisätyn lämmöneristekerroksen läpi vanhaan julkisivuun. Kuorimuuri kuormittaa maaperää huomattavasti ja se vaati yleensä erillisen perustuksen. Kuorimuuri ei kuitenkaan muista verhouksista poiketen kuormita vanhaa ulkokuorta. Näin ollen vanhaa ulkokuorta ei tarvitse merkittävästi lujittaa uutta ulkoverhousta varten. Tuuletusraolinen kuorimuuri poikkeaa teknisiltä ominaisuuksiltaan täysin vanhanaikaisesta massiivitiiliseinästä. (Haukijärvi 2005b)

Peittävien korjausten hinnat huoneistoneliömetriä kohden:

- Eristerappaus: 80 – 200 €/h-m²
- Levyverhous: 150 – 300 €/h-m²
- Kuorielementit: 200 – 400 €/h-m²
- Muuraus: 200-400 €/h-m²

Korjauskustannuksiin vaikuttavat vanhan julkisivun kunto, rakennuksen muodot ja monipuolisuus sekä eristekerroksen paksuus. Pahasti vaurioitunut ulkokuori joudutaan pulttaamaan tiheämmin kiinni sisäkuoreen tai osittain jopa purkamaan. Julkisivun monimuotoisuus aiheuttaa suunnittelun ja toteutuksen kannalta haastavia detaljeja, joiden toteuttaminen suoraan seinäpintaan verrattuna on oleellisesti kalliimpaa. Paksu eristekerros aiheuttaa muutostarpeita räystäs- ja sokkelilinjoihin sekä ovien ja ikkunoiden pieliin ja muiden läpivientien kohdille. Teknisesti toimivien ratkaisujen suunnittelu on kahden eristekerroksen ja syvälle jäävien ikkunoiden takia haastavaa. (Haukijärvi 2005b)

Peittävillä korjauksilla voidaan vaikuttaa energiansäästöön ilmavuotojen tukkimisen sekä eristekerroksen lisäämisen avulla. Ilmavuotojen tukkimisen vaikutuksen voidaan arvioida olevan samalla tasolla paikkaus- ja pinnoituskorjauksen kanssa. Erilaisilla eristepaksuuksilla ja eristemateriaaleilla voidaan vaikuttaa U-arvon paranemiseen. Eistemateriaalin valinnan yhteydessä, etenkin polyuretaanimateriaalien kohdalla, tulee kuitenkin huomioida materiaalin käyttäytyminen palotilanteessa. (Haukijärvi 2005b)

Ulkokuoren purkaminen ja uudelleenverhous

Purku- ja uudelleenverhouskorjauksella vanha ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan osittain tai kokonaan pois. Purkaminen vaatii tarkkaa suunnittelua. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon säilytettävät rakennusosat sekä mahdolliset haitalliset aineet ja yhdisteet, joita purkutöissä vapautuu (asbesti, lyijy, PCB). Varsinainen ulkokuoren purkaminen tapahtuu piikkaamalla, tarraimilla murskaamalla, nostotyynymenetelmällä tai nostamalla pois kokonaisina elementteinä. Purkamisen jälkeen työ vastaa suurelta osin uudisrakentamista ja uudelleen verhoukseen voidaan käyttää edellä mainittuja vaihtoehtoja. (Haukijärvi 2005c) Purettuun seinään saadaan paksumpi kerros lämmöneristettä ja uusi lämmöneristekerros vastaa yleensä nykyvaatimuksia. (Lahdensivu 2010)

Yleisesti ottaen betonisten kuorirakenteiden purkaminen on hankalaa ja kallista. Siihen sisältyy peittäviä verhousvaihtoehtoja enemmän turvallisuusriskejä ja ympäristöhaittoja. Purkaminen soveltuu kohteisiin, joissa vanha rakenne on niin huonossa kunnossa, ettei siihen voida kiinnittää uutta verhousta tai vanha seinärakenne aiheuttaa turvallisuus- ja terveysriskejä. Purkaminen ja uusi kuorimateriaali voi olla vaihtoehtona myös, jos rakennetta ei voida paksuntaa päälle asennettavilla verhouksilla tai purkaminen on suhteellisen helppoa ja halpaa. (Pentti et al. 1998, s.71)

Purkamisen ja uuden verhouksen asentamisen kustannus vaihtelee rakennuksen ominaisuuksista ja suunnitteluratkaisusta riippuen noin 150 – 500 €/h-m². Matalimmat kustannukset saavutetaan helpolla ulkokuoren purulla ja edullisella verhouksratkaisulla. Rekisterin yläpäässä ovat hankalat purkutoimenpiteet sekä arvokorjaukset.

4.1.2 Ikkunat ja ovet

Rakennusten ikkunat ja ulko-ovet kestävät tavallisesti hyvin pitkään. Ikkunakorjaus tulee yleensä ajankohtaiseksi, kun määräykset muuttuvat, ikkunat tuntuvat vetoisilta, niiden kunto on hälyttävän heikko tai rakennusta korjataan muuten laajemmin. Ennen ikkunoiden ja ovien uusimista tai korjaamista kannattaa selvittää kuntotutkimuksilla, missä laajuudessa korjauksia kannattaa tehdä. Usein seinien eri osissa olevat ikkunat ovat elinkaarensa eri vaiheissa. (Kaivonen et al. 1994)

Ikkunoiden tyypillisiä ongelmia ovat haurastuneet ja vaurioituneet kittaukset ja tiivisteet, pintakäsittelyn ja puun halkeilu, lahovauriot sekä pellitysten irtoilu. (Lappalainen 2012) Vaurioituneet ikkunat ovat epäsiistin näköisiä, lisäävät energiankulutusta, hankaloittavat käyttöä sekä ovat turvallisuusriski. Vaurioita aiheuttavat pääasiassa vesi eri muodoissaan, auringon säteily, ilman epäpuhtaudet sekä tuuli. Arkoja kohtia ikkunarakenteissa ovat ulkopuitteen alaosat, joihin vesi valuu ikkunalasilta ja mahdollisesti imeytyy, karmin ja ulkoseinän saumat, kittaukset, ikkunapellin ja karmin liitokset sekä ikkunapellin sivujen liitokset ulkoseiniin. Mitä sisempänä ikkunat ovat julkisivussa, sitä vähemmän niille lankeaa viistosadetta ja aurinkoa, ja ikkuna on paremmin sääsuojassa. (Kaivonen et al. 1994)

Ikkunakorjaukset voidaan jakaa kolmeen ryhmään: Kunnossapitokorjaukseen, osittaiseen uusimiseen sekä uusimiseen. Kunnossapitokorjauksessa vanha ikkuna korjataan siltä osin kun on tarpeellista. Yleensä ikkuna maalataan ja tiivisteet uusitaan. Myös seinän ja karmin välin tiivisteiden uusinta on mahdollista. Maalin käyttöikä ikkunan ulkopuitteessa on keksimääriin 5 – 8 vuotta ja sisäpuitteessa 8 – 15 vuotta. Ikkunan tulee olla riittävän hyvässä kunnossa, että kunnossapitokorjaus kannattaa tehdä. (Boström et al. 2012)

Osittaisella uusimisella parannetaan usein lämmön- ja ääneneristävyyttä ja korjausmetodina on lasien lisääminen tai vaihtaminen vanhoihin karmeihin. Tällöin vanhojen karmien tulee olla riittävän hyvässä kunnossa. Lisälasi asennetaan yleensä ulkoseinän paksuutta kasvattavien julkisivun verhoukskorjauksien yhteydessä. Tällöin ikkunarakenne saadaan

paremmin sovitettua seinän paksuuteen. Vanhoihin karmeihin voidaan vaihtaa jokin tai kaikki ikkunalaseista, ja tällöin vaihtolasi on paremmin eristetty. Lisä- ja vaihtolasien yhteydessä ikkunan karmi ja säilytettävät puitteet yleensä maalataan ja tiivistetään. Lisä- ja vaihtolaseilla kaksilasisen ikkunan U-arvo $2,1 - 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ paranee tavanomaisella lasilla arvoon $\sim 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, kovapintaisella selektiivilasilla arvoon $\sim 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja kaasutäytteisellä selektiivilasilla jopa arvoon $\sim 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Boström et al. 2012)

Ikkunoita uusittaessa vanha ikkuna poistetaan yleensä karmeineen ja tilalle asennetaan uusi ikkuna. Uusien ikkunoiden U-arvovaatimus on asuinrakennuksissa $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, mutta valittavana on myös laaja kirjo eristyslaseja, joiden U-arvot ovat parempia. Ikkunavalinnoissa tulee huomioida ilmanvaihtojärjestelmä. Jos rakennuksessa on painovoimainen- tai poistoilmanvaihtojärjestelmä, korvausilman riittävästä saatavuudesta tulee huolehtia. Markkinoilla on ikkunoita, joissa on raitisilmaventtiilit tai tuloilmaikkunoita, joissa korvausilma kierrätetään ikkunalasien väleissä ja esilämmitetään korvausilma. (Boström et al. 2012)

Kerrostalojen ulko-ovet ovat usein metallirakenteisia ja niiden pitkäaikaiskestävyys on hyvä. Metalliovien vaurioituminen on usein mekaanista kulumista, mikä johtaa ovien kunnostus- tai vaihtotarpeeseen. Ovia voidaan säätää ja tiivistää sekä huoltomaalata käyttöönsä pidentämiseksi. Ovet voidaan myös vaihtaa nykyaikaisiin ja samalla parantaa niiden lämmöneristysominaisuuksia. 1960 – luvulla ulko-ovien U-arvovaatimus oli $2,0 - 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja nykyaikaisen ulko-oven U-arvo on $0,8 - 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Boström et al. 2012, Vinha 2013)

Ikkunoiden tiivistyskorjaus maksaa keskimäärin 2 €/h-m^2 , lisälasien asentaminen $20 - 30 \text{ €/h-m}^2$ ja ikkunoiden uusiminen $40 - 50 \text{ €/h-m}^2$. Vakioituja kustannuksia on hankala määrittää, sillä ikkunaremontin kustannukset riippuvat merkittävästi ikkunoiden koosta sekä lisälasien ja uusien ikkunoiden hinnasta. 12×12 - kokoisen ikkunan kappalehinta vaihtelee noin $150 - 550 \text{ €}$ välillä aukeamattoman lasi-ikkunan ollessa edullinen ja eri tavoin avattavan metallisen energiatehokkaan eristysikkunan ollessa kalliimmasta päästä.

Kerrostalon ulko-ovia on usein vähän ja niiden uusimiskustannukset ovat asuinneliömetriä kohden vaatimattomat. Ulko-ovien uusimisen energiataloudellinen kannattavuustarkastelu kannattaa suorittaa tapauskohtaisesti.

4.1.3 Yläpohja

Yläpohja

Kuten muidenkin rakennusosien kohdalla, myös yläpohjan korjaus- ja muutostyöt lähtevät vaurioiden korjaamisen tai ennaltaehkäisyn tarpeesta. Katot voidaan jakaa tuulettuviin ja tuulettumattomiin kattorakenteisiin. Tuulettuvat kattorakenteet ovat yleensä kaltevia ja kalteva osa on varsinainen vesikate, joka ohjaa sadeveden tehokkaasti pois rakennuksen

päältä. Vesikatteen sisäpuolella on tuulettuva ilmatila, jonka kautta keräytyvä kosteus ja kondenssivesi tuulettuvat rakennuksen ulkopuolelle. Tuuletusvälin sisäpuolella runkorakennetta vasten on lämmöneristekerros. 1960 – luvulta alkaen tasakattorakenteet yleistyivät ja niiden myötä tuulettumattomat rakenteet. Tuulettumattomissa yläpohjissa lämmöneriste on kantavan rakenteen päällä ja vedeneriste suoraan lämmöneristeen päällä. Yläpohjaan kertynyt kosteus ei pääse tuulettumaan yhtä tehokkaasti pois, jolloin rakennusmateriaaleilta vaaditaan parempaa kosteuden kestoä. Myös tuulettuva rakenne on mahdollista toteuttaa tasakatoissa. Tällöin tuuletustila on toteutettu riittävän paksulla kevytsorakerroksella tai puisella runkorakenteella, jonka päällä on varsinainen vedeneristekerros. Kevytsorakerroksen alla käytetään usein EPS – eristettä tai kovaa mineraalivillaa mutta puurakenteisessa tuuletusvälissä eristemateriaalin voi valita vapaammin. Vesikaton puurunko ohjaa lumi- ja henkilökuormat kantavalle rakenteelle. 1960 – luvulta lähtien betonirakenteisten kerrostalojen pääasiallinen vesikatemateriaali on ollut bitumikermikate ja sen käyttöikä on käytetyistä materiaaleista ja kerrosvahvuuksista riippuen 15 – 40 vuotta. (Kaivonen et al. 1995, Lappalainen 2012)

Vesikate vaurioituu, kun sen pintaan tai liitokseen tulee rako, minkä kautta vesi pääsee alla oleviin rakenteisiin. Vesikatetta rasittavat auringon UV-säteily, jään repivä vaikutus sekä painevaikutus, korkeat lämpötilat, pakkasrasitus sekä suuret lämpötilavaihtelut. Vesikatteen reiän voi aiheuttaa myös yläpohjarakenteen tai rungon eläminen ja liikkeet, jolloin pakkovoimat repivät vesikatteeseen aukkoja. Lisäksi katolla tehtävät huoltotyöt rasittavat katemateriaalia. Ongelmakohtia vesikatolla ovat kaikki läpiviennit, jiirit, taitteet ja ylösnostot, joiden liitoskohtien työstäminen täydellisen vedeneristäväksi on vaikeaa. Lisäksi kattoja rasittavat huoltotoimenpiteiden puuttumien, biologinen kasvusto sekä ilkivalta. (Kaivonen et al. 1995) Tasakattojen yleisimpiä ongelmia ovat saumojen vuodot, kattokaivojen tukkeutuminen ja siitä seuraava vesien lammikoituminen ja jäätyminen. (Boström et al. 2012)

Vesikatteen reikien ja vuotokohtien paikkaaminen on mahdollista. Tällöin tulee kuitenkin aina tutkia, missä laajuudessa yläpohjarakenne on päässyt vaurioitumaan. Mikäli vauriot ovat vähäisiä ja kosteus pääsee pois rakenteesta, paikkauskorjaus on mahdollista ja melko edullista kunnossapitotoimintaa. Muuten yläpohjarakenne joudutaan uusimaan osittain tai kokonaan. (Kaivonen et al. 1995) Vesikaton uusimisen yhteydessä yläpohjan lisäeristäminen on mahdollista ja kattorakenteesta riippuen helppoa. Jos alkuperäisessä ratkaisussa yläpohjassa on tilaa, uusi eriste voidaan asentaa vanhan eristeen päälle. Mikäli vanha eriste on pilaantunut, koko eriste voidaan vaihtaa parempaan eristemateriaaliin. Jos tilaa ei ole, vanha eriste voidaan vaihtaa parempaan tai koko kattorakennetta korottaa lisäeristekerrosta varten. Tällöin kuitenkin räystäään koko ja asema muuttuvat. (Boström et al. ja Kaivonen et al. 1995)

Tuulettuvien yläpohjarakenteiden lisäeristäminen on helppoa ja maksaa kattoneliömetriä kohden 5-10 €/brm². Sen sijaan kattorakenteen purkaminen ja uuden rakentaminen maksaa 100 - 600 €/brm². Huoneistóneliömetriä kohden katon uusiminen maksaa 20 – 100 €/h-m².

Yläpohjan U-arvovaatimus oli 1960 – luvulta 1970 – luvun puoliväliin 0,47 - 0,41 W/m²K ja nykyään vaatimus on 0,09 W/m²K. Boströmin et al. (2012) tutkimuksen mukaan yläpohjan lisäeristämisen kannattavuus riippuu pitkälti yläpohjan alasta suhteessa muuhun vaipan alaan. Heljon & Viholan (2012) tutkimuksen mukaan yläpohjan eristäminen on kannattavimpia energiatehokkuustoimenpiteitä siellä, missä se on helposti mahdollista. Heljon & Viholan tutkimuksessa omakotitalojen yläpohjien lisäeristäminen oli muihin rakennustyyppeihin verrattuna kannattavaa, mikä tukee Boströmin et al. tuloksia.

4.2 Talotekniset järjestelmät

Taloteknisten järjestelmien tullessa käyttöikänsä päähän uusien laitehankintojen yhteydessä energiatehokkuutta voidaan parantaa. Talotekniikan järjestelmät rakentuvat kategorisesti laitteista sekä laitteiden välillä ja rakennuksen ulkopuolelle kulkevista johdoista, putkista ja hormoneista. Tässä tarkastelu on rajattu koskemaan energiatehokkuustoimenpiteiden näkökulmasta merkittävimpiä komponentteja, joita ovat laitteistot sekä lämmintä vettä kuljettavat putkistot.

4.2.1 Lämmitysjärjestelmä

Kerrostalojen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö. Lämmitysjärjestelmä koostuu lämmönvaihtimesta, lämmönsiirtimestä, patteriverkoston putkistosta ja putkivarusteista sekä lämmönluovuttimista. Eri komponenteilla on eripituiset käyttöiät. Pitkäkestoisimpia ovat lämmityspatterit ja patteriputkistot, joiden käyttöikä on 50 – 100 vuotta. Lämmönsiirtimet, kiertovesipumput sekä sulku- ja säätöventtiilit kestävät noin 20 – 30 vuotta. Termostaatit, paisunta- ja varolaitteet sekä varo- ja moottoriventtiilit tulisi uusida noin 10 vuoden välein. Talotekniset laitteet voivat vaatia huoltoa ja korjausta, mikäli säädöt ja asetukset eivät palvele halutulla tavalla. Lämmitysjärjestelmien korjauksiin luetaan siksi lämmönsiirtimen ja linjasäätöventtiilien uusimisen lisäksi lämmitysverkoston perussäädöt. (Boström et al. 2012)

Perussäädöllä asetetaan eri tiloihin halutut lämpötilat. Mikäli lämmönjakojärjestelmän laitteet ja venttiilit eivät mahdollista tarkkoja säätöjä, ne usein vaihdetaan perussäädön mahdollistaviin komponentteihin. Ennen lämmityksen perussäätöä osaa rakennuksen tiloista lämmitetään liikaa ja osa on liian kylmiä. Perussäädöllä jokaiseen tila saadaan halutun lämpöiseksi. (Motiva 2015) Lämmitystehoa säädetään muuttamalla menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Huonetilojen lämpötilaksi asetetaan 20 – 22 °C ja yleisissä tiloissa 15 – 18 °C. Yhden asteen lämpötilan lasku laskee Boströmin et al. (2012)

mukaan 5 % lämmitysenergian kustannuksia. Lisäksi huoneita ei tarvitse tuulettaa, kun lämpötila on sopiva käyttäjälle sopiva. Perussäädön kustannukset ovat 2 – 16 €/h-m² ja energian säästö kohteesta riippuen jopa 10 – 15 %. (Boström et al. 2012, Motiva 2015)

Lämmitysjärjestelmän raskaampi korjaus on lämmönsiirtimen uusiminen. Lämmityspatteriverkostolle on usein oma lämmönsiirrin ja lämpimälle käyttövedelle oma. Lämmönsiirrin uusitaan käyttöiän loppuvaiheessa enne varsinaista vaurioitumista. Lämmönsiirtolaitteiden kehityksen seurauksena uusi lämmönsiirrin on liki poikkeuksetta energiatehokkaampi vanhoihin nähden. Lämmönsiirtimen uusiminen maksaa noin 3 – 13 €/h-m² ja sen vähentää energiankulutusta jopa 14 %. (Boström et al. 2012)

4.2.2 Käyttövesi ja viemärit

Putkistosaneeraus on asuinrakennuksen kallein remontti ja sen kustannukset ovat keskimäärin noin 400 €/h-m². Putkistosaneerauksessa vaihdetaan yleensä viemärit, käyttövesiputket sekä käyttöveden lämmityslaitteistot. Koska kustannukset ovat joka tapauksessa suuret, kylpyhuoneet saneerataan samassa yhteydessä synergiaetujen takia. Tarvittaessa putkistosaneerauksessa uusitaan myös lämmitysjärjestelmän putkistoja ja laitteita. Putkistosaneerauksia tehdään usein 30 – 50 vuoden käyttöiässä kun ensimmäiset vesivuodot alkavat esiintyä. Merkittävin energiansäästövaikutus käyttövesi- ja viemärikorjausten yhteydessä liittyy vettä säästäviin vesikalusteisiin. Muita tehokkaita toimenpiteitä kerrostalokohteissa ovat huoneistokohtaiset vesimittarit sekä kulutuksen mukainen lämpimän käyttöveden laskutus. (Boström et al. 2012)

Nykyaikaiset kodinkoneet ja vesikalusteet kuluttavat noin puolet 15 vuotta vanhoihin vesikalusteisiin verrattuna. Lämmitysenergiaa sen sijaan säästävät vain vesikalusteet, jotka on kytketty lämpimään käyttöveteen. Peseytymisen osuus kaikesta vedenkulutuksesta on noin 40 %. Suihkuun ja käsienpesuhanoihin asennettavat säästösuuttimet vähentävät keskimäärin 10 – 25 % lämpimän käyttöveden kulutusta koko rakennuksessa. Säästösuuttimet maksavat 10 – 50 €/kpl. (Motiva 2015)

Vesimittareiden asennus ja sen perusteella lämpimän käyttöveden laskutus vaikuttavat asukkaiden kulutustottumuksiin. Boströmin et al. (2012) tutkimuksen mukaan huoneistokohtaisella vesimittarilla vedenkulutus vähenee 20 %, mikä tarkoittaa lämpimän käyttövedenkulutuksen 10 % laskua. Huoneistokohtainen vesimittarijärjestelmä maksaa 500 – 700 €/huoneisto ja sen käyttöikä on noin 12 vuotta.

4.2.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmien korjaukset voidaan jakaa järjestelmän korjauksiin sekä järjestelmien muutoksiin. Järjestelmän korjaukset ovat puhallinlaitteiden uusimisia, hormien ilmavuotojen tukkimisia sekä ilmamäärien säätöjä. Muutoskorjauksissa olemassa oleva

järjestelmä vaihdetaan johonkin toiseen, esimerkiksi painovoimaisesta järjestelmästä koneelliseen tulo-poistojärjestelmään. (Holopainen et al. 2007) 1960 – 1980 –lukujen asuin-kerrostalojen pääasialliset ilmanvaihtojärjestelmät ovat painovoimainen sekä koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttöikä on yhtä pitkä kuin koko rakennuksen käyttöikä. Koneellisen poistoilmajärjestelmän puhallin vaihdetaan yleensä 10 – 30 vuoden välein. Painovoimaisissa ja koneellisissa poistoilmanvaihtojärjestelmissä ongelmana on hormien ja kanavien rapautuminen ja rakenteellinen heikkeneminen. Usein ilmanvaihtojärjestelmän korjauksiin ajaututaan kuitenkin huonon sisäilman takia. Huono sisäilma johtuu yleensä liian suurista ilmavirroista, mikä aiheuttaa vedon tunnetta tai liian pienistä ilmavirroista, jolloin sisäilma on tunkkainen ja kostea.

Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja ja siten sisäilman laatua parantavia korjauksia ovat hormien puhdistaminen, korvaus- ja poistoilmaventtiilien avaaminen ja kunnostaminen, poistopuhaltimen asentaminen hormien yläpäähän sekä ikkunoiden ja muiden ei-toivottujen korvausilmareittien tiivistäminen. Vetoisan huoneiston ilmamääriä saadaan pienennettyä säätämällä poisto- ja korvausilmaventtiileitä pienemmälle sekä tiivistämällä ikkunoita ja muita vuotoilman reittejä. Painovoimaisen ilmanvaihdon korjaukset eivät yleensä paranna energiatehokkuutta vaan lisäävät energiankulutusta, etenkin jos järjestelmään asennetaan huippuimuri. (Virta & Pylsy 2011) Ilmanvaihdon parantaminen on kuitenkin terveyden ja viihtyvyyden kannalta usein välttämätön toimenpide.

Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän korjauksia ovat edellä mainittujen korjausten lisäksi poistopuhaltimen uusiminen ja perussäätö. Uudet puhaltimet voivat kuluttaa sähköä jopa 50 % vanhoja puhaltimia vähemmän. Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmien alkuaikoina rakennuksiin ei välttämättä asennettu lämmöntalteenottolaitteita.

Ilmanvaihtojärjestelmän muutoskorjaukset ovat raskaita, mutta hyvin toteutettuna niillä on mahdollista saavuttaa jopa 15 – 30 % säästö lämmitysenergiakustannuksiin. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän parannuksena poistoilmalämpöpumpuilla on mahdollista parantaa energiatehokkuutta enemmänkin, mutta niiden asennuskustannuksista olemassa oleviin rakennuksiin on hyvin vähän tietoa saatavilla. Virran & Pylsyn mukaan (2011) poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asentaminen kerrostaloon maksaa 50 000 – 80 000 €. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen koneelliseen tulo-poistojärjestelmään nostaa kiinteistösähkönkulutusta noin 6 kWh/h-m². Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen koneelliseen tulo-poistojärjestelmään ei juuri lisää kiinteistösähkönkulutusta, mutta lämmityskaudella lämmöstä saadaan talteen 55 – 70 %. Jälkiasennetuissa tulo-poistojärjestelmissä kaikissa vaihtoehdoissa ovat omat ongelmansa. Keskitetyssä järjestelmässä uudet putkitukset vievät huoneiston myytävää tai vuokrattavaa tilaa, täysin hajautetussa järjestelmässä kaikki ilmanvaihtokoneet ovat huoneiston tiloissa ja välimuotojärjestelmässäkin tuloilmakone. Ilmanvaihtojärjestelmän muutos maksaa putkistosaneerauksen yhteydessä Virran ja Pylsyn (2011) mukaan 150 – 250 €/h-m². Boströmin et al. (2012) mukaan keskitetty järjestelmä maksaa 200 – 250 €/h-

m² ja hajautettu 250 – 300 €/h-m². Ilmanvaihtojärjestelmän nuohous ja säätökustannukset ovat keskimäärin 0,5 – 3 €/h-m².

5. KANNATTAVUUSTARKASTELU

Alholan & Lauslahden mukaan (2006) taloudellinen kannattavuus on monitahoinen ongelma, jota ei voida määritellä yksiselitteisesti. Yleensä kannattavuus tarkoittaa tulontuottamiskykyä valitulla ajanjaksolla. Kannattavuutta tulee tarkastella laaja-alaisesti monella eri välineellä ja relevantin aikajänteen aikana. Usein sorrutaan kustannusten optimointiin, joka ei välttämättä kerro pitkällä aikavälillä investoinnin kannattavuudesta. Taylor (1975) painottaa, että päätöksentekijällä on vain kaksi velvollisuutta: Selvittää kaikki mahdolliset skenaariot ja valita niistä taloudellisesti kannattavin. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta tarkasteltaessa erilaisia mahdollisuuksia parantaa energiatehokkuutta on paljon. Kannattavuustarkastelu perustuu aina erilaisten vaihtoehtojen vertaamiseen. Taylorin mukaan päätöksen lykkääminen tai investoinnin jättäminen tekemättä ovat uusiin investointeihin rinnastettavia päätöksiä ja usein vieläpä vähäisellä informaatiolla tehtyjä huonoja päätöksiä.

Tässä luvussa esitetään energiaremontin kannattavuustarkastelun määritelmiä, välineitä, kannattavuuden vertailuperusteita sekä kannattavuuteen välillisesti tai suoraan vaikuttavia ulkoisia tekijöitä.

Energiaremontilla tarkoitetaan kiinteistön muun korjauksen yhteydessä toteutettavia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Tällöin investointikustannuksiin ei huomioida kaikkia korjaamisesta aiheutuvia kustannuksia, vaan tarkastelu rajataan energiatehokkuutta parantavaan komponenttiin. Laskentatoimen termein tässä tutkimuksessa tarkastellaan vain energiatehokkuustoimenpiteiden suhteen muuttuvia kustannuksia ja kaikille eri vaihtoehdoille yhteiset kiinteät kustannukset rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Oletettavasti eritasoiset energiaparakset aiheuttavat ympäröiviin rakenteisiin erilaisia muutoksia, joiden kustannukset on huomioitava. Rakennuksen kunto asettaa vaatimukset perustason korjaukselle ja tällöin vain perustason korjaukset käsitellään kiinteinä kustannuksina. Mikäli energiatehokkuutta merkittävästi parantava toimenpide, esimerkiksi ulkoseinän paksu lisäeristäminen, vaatii vanhan ulkokuoren purkamisen, kaikki perustason korjauksen ylittävät kustannukset huomioidaan muuttuvina kustannuksina energiatehokkuustoimenpiteeseen kuuluvaksi.

Energiaremonttia tarkasteltaessa investoinnista saatavan tulon muodostaa energiatehokkuustoimenpiteen aiheuttama säästö energiakustannuksissa. Energiansäästö lasketaan vuotuisena säästönä. Lähtötilanteen ja toimenpiteen jälkeistä energiankulutusta verrataan ja energiansäästöstä voidaan laskea rahamäärinen kustannussäästö. Muita tulonlähteitä ei oteta huomioon.

5.1 Investointilaskenta

Tutkimuksessa sovelletaan energiatehokkuuden kannattavuuden tarkastelussa laskenta-toimen perusmenetelmiä ja työkaluja sekä aikaisemmissa energiatehokkuustutkimuksissa hyviksi havaittuja menetelmiä. Tässä käytettäviä kannattavuuslaskennan perusmenetelmiä ovat laskentakorkokannan määrittäminen, nettonykyarvo, sisäinen korkokanta sekä takaisinmaksuaika. Energiatehokkuustutkimuksista sovellettavat osat liittyvät ongelmanasetteluun, vertailuun sekä tulosten esittämiseen.

5.1.1 Laskentakorkokanta ja tuottovaatimus

Taylorin (1975) periaate päätöksentekijän taloudellisesta vastuusta sisältää ajatuksen kai-ken pääoman hinnasta ja tuottovaatimuksesta. Päätöksentekijän täytyy selvittää mahdol-liset investointikohteet ja sijoittaa hallussaan oleva pääoma mahdollisimman tuottavasti. Esimerkiksi investointi uuden kiinteistön ostoon voi osoittautua huonommaksi kuin lisä-rakentamishanke ja se ei enää ole taloudellisesti perusteltua.

Alholan & Lauslahden (2006) mukaan laskentakorkokannalla tarkoitetaan kannattavuus-laskelmissa käytettävää tuottoastevaatimusta. Investoinnin tekijä haluaa sijoituksestaan jonkin vuosittaisen tuoton ja tämän perusteella määritetään investoinnin laskentakorko-kanta. Sopivan tuottoastevaatimuksen määrittäminen vaatii kuitenkin monivaiheista tar-kastelua ja valintojen tekemistä. Yleinen hintatason nousu eli inflaatio vääristää vuosit-aisia tuottoja ja kustannuksia ja yleensä inflaation osuus on poistettu laskelmissa. Jos tuottoastevaatimus arvioidaan väärin, voidaan hylätä kannattavia sijoituksia tai investoida kannattamattomiin hankkeisiin. Seuraavassa on esitelty lyhyesti yleiset tuottoasteen mää-räytymisen perusteet. Energiakorjaukseen liittyviä erityispiirteitä on käsitelty lisää koh-dassa 5.2.

Tuottoaste, ROI

Sijoitetun pääoman tuottoaste (*Return on investment, ROI*) on hyvin yleinen talouden tun-nusluku. Yksinkertaistettuna investoinnin vuotuinen tuottoaste lasketaan kaavalla

$$ROI - \% = \frac{\text{Vuotuinen tuotto}}{\text{Investointi}} * 100 .$$

Yleensä ajatellaan sijoitetun pääoman tuottoasteen olevan erinomainen, kun se on yli 15 %, hyvä 10-12%, tyydyttävä 6-10%, välttävä 3-6% ja heikko alle 3%. (Alhola & Lauslahti 2006) PricewaterhouseCoopersin selvityksen (2012) mukaan ammattisijoittajien vaatima tuottoaste (riskitön tuottoaste 2,625 % + markkinariskipreemio 6 % = 8,625 %) on Alhola & Lauslahden asteikolla tyydyttävä.

Neilimo & Uusi-Rauva (2005) määrittelevät eri investointiluokille erilaiset tuottastevaatimukset: Pakolliset investoinnit (lakien ja viranomaismääräysten perusteella) 0 %, markkina-aseman turvaaminen 6 %, Uusintainvestoinnit (peruskorjaus ja uusiminen) 12 %, kustannusten alentaminen investointien avulla 15 %, tuottojen lisääminen investointien avulla 20 %, uusi aluevaltaus tai riskialtis investointi 25%. Heidän mukaansa toinen yleinen näkemys on, että yrityksen tulisi laittaa kaikille pääomapanostuksille sama tuottovaatimus, lukuun ottamatta pakollisia investointeja. Taylorin (1975) periaatteen mukaan tuottovaatimuksen määrittelyssä voidaan käyttää vaihtoehtoistuottoa. Tuottoasteen vähimmäisvaatimus voidaan myös määrittää vaihtoehtoiskustannuksesta. Esimerkiksi pankkilainan korkokustannusta voidaan pitää minimituottoasteena. KTI:n ja IPD:n tekemän tutkimuksen (2012) mukaan kiinteistöliiketoiminnan tuottoaste on ollut 7 % luokkaa keskimäärin ja asuinkiinteistöjen tuottoaste on ollut 9,2 %. Kiinteistöliiketoiminnan tuottoaste on yleisesti matalampi kuin Neilimo & Uusi-Rauva ja Alhola & Lauslahden esittämät tuottoasteet. Tämä selitetään usein kiinteistöliiketoiminnan vakaudella. Heljo et al. (2012) on käyttänyt tutkimuksissaan energiatehokkuustoimenpiteiden riittävänä reaalisena tuottoastevaatimuksena jopa 2 %.

Investoinnin tuottoastevaatimus koostuu yleensä inflaatiosta, vieraan pääoman korkokustannuksesta, oman pääoman kustannuksesta sekä investointiin liittyvän riskin lisäkorosta.

Inflaatio

Inflaatio kertoo rahan arvon yleisestä heikkenemisestä ja vaikuttaa yleisesti kaikkien hintojen kehitykseen. Tilastokeskuksen mukaan (2015) inflaatio Suomessa on viimeisen kymmenen vuoden aikana ollut keskimäärin 1,8 %, joskin vuosittainen heilahtelu on ajoittain ollut voimakasta. Laskelmissa voidaan käyttää nimellisiä kustannuksia, jolloin laskentakorkona käytetään inflaation sisältävää nimelliskorkoa. Investointilaskelmissa on usein kuitenkin helpompaa käyttää investointihetken reaalisia kustannuksia. Tällöin oletetaan, että tulevaisuuden kustannukset ovat suhteessa muihin elinkustannuksiin karkeasti samansuuruisia kuin investointihetkellä. Kun käytetään reaalisia hintoja, inflaatiota ei sisällytetä käytettävään korkokantaan ja tällöin puhutaan reaalikorosta. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005) Tässä työssä laskelmissa käytetään reaalikorkoa, ellei toisin mainita. Inflaation, nimellisen koron sekä reaalikoron yhteys on esitetty alla

$$(1 + i) = (1 + s) * (1 + i_r),$$

jossa i on nimelliskorko, s on inflaatio ja i_r on reaalikorko (Aho 1982). Kun kyse on pienistä korkoprosenteista, jotka pyöristetään ykkösten tarkkuudelle, riittävän tarkkoihin arvoihin päästään vähentämällä suoraan nimelliskorosta inflaatio. (Heljo et al. 2012)

Vieraan pääoman kustannus

Vieraalla pääomalla tarkoitetaan usein pankin antamaa lainaa. Pankin antaman lainan korko koostuu inflaatioriippuvaisesta Euribor-ohjauskorosta sekä pankin tuottovaatimuksesta, jota kutsutaan marginaaliksi. Vuonna 2015 Euribor on ollut Euroopan taloustilanteesta johtuen pieni ja 12 kuukauden Euribor oli 1.9.2015 0,161 %. (Suomen Pankki, 2015) Marginaalia voidaan kutsua lainan hinnaksi ja pankki määrittää marginaalin riippuen asiakkaasta ja lainan käyttötarkoituksesta. Asuinrakennusten lainoituksessa marginaalit ovat eri lähteiden mukaan 1 – 2 % tuntumassa.

Riskipreemio

Täysin riskittömänä sijoituksena pidetään rikkaiden ja vakaiden valtioiden pitkäaikaisia joukkovelkakirjoja. Suomen Pankin viimeisin arvopaperitilasto vuodelta 2014 antaa Suomen 30 vuoden joukkovelkakirjojen kiinteäksi korkotuotoksi 2,625 %. Jos inflaation oletetaan pysyvän pitkällä aikavälillä noin 2 %:ssa, riskitön tuottoprosentti on 0,5 – 1,0 % luokkaa.

Riskipreemio riippuu lainaa hakevasta tahosta sekä lainan vakuuksista. Liike-elämässä erilaisella toiminnalla on hyvin erilaisia riskipreemioita. Kiinteistöliiketoiminta on toimintana vakaata ja tuotto perustuu yleensä tasaisiin vuokramaksuihin. Yleisesti sopivana riskipreemiona kiinteistöosakesijoittamisessa pidetään 2 % - 4 % (Odin 2012). Viestintävirasto arvioi saavansa vierasta pääomaa riskipreemiolla 2,5 % - 3,5 %, mikä on perusteltua, sillä myös Suomen valtion virastoa voidaan pitää luotettavana velallisena. PricewaterhouseCoopersin vuoden 2012 selvityksen mukaan osakemarkkinoiden keskimääräinen riskipreemio ammattisijoittajien keskuudessa oli 6 % ja mediaani 5,5 %.

5.1.2 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä investoinnin hankintameno jaetaan pitoaikaa vastaaville vuosille yhtä suuriksi vuosieriksi eli annuiteeteiksi. Vuosierä koostuu korkokustannuksesta sekä investoinnin poistosta. Investointia pidetään taloudellisesti kannattavana, mikäli vuosittainen tuotto tai säästö on suurempi kuin vuosierä. Jos investoinnin laskenta-aika on pienempi kuin käyttöikä, investoinnin jäännösarvo diskontataan nykyhetkeen ja vähennetään investointikustannuksesta. (Alhola & Lauslahti 2006)

Investoinnin annuiteetti lasketaan kaavalla

$$A = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} * S,$$

jossa A on vuosierä eli annuiteetti, i on laskentakorkokanta, n on käyttöikä ja S on investointikustannus.

5.1.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka aikana investoinnin tuotto tai kustannussäästö kattaa investoinnin arvon. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla (Alhola & Lauslahti 2006)

$$TMA = \frac{\text{Investointi}}{\text{Vuotuinen tuotto}}$$

Virtasen & Tuomaalan (2011) mukaan takaisinmaksuaika on hyvin yleisesti käytetty menetelmä investoinnin kannattavuuden pikaiseen arvioimiseen. Investoinnin kokoluokka ja kustannussäästöjen vaikutukset ovat heti arvioitavissa ja ymmärrettävissä. Esimerkiksi 100 000€ investointi maksaisi 2000€ vuosittaisella säästöllä itsensä takaisin 50 vuodessa.

Takaisinmaksuaika on hyvin yksinkertainen malli, eikä se ota huomioon rahan aika-arvoa eikä mahdollista jäännösarvoa. Takaisinmaksu ei lisäksi huomioi investoinnin kohteen käyttöikää. Tästä syystä sitä on usein kritisoitu asiantuntijoiden keskuudessa energiatehokkuuden elinkaariaarilaskelmien yhteydessä. Takaisinmaksuaika konkretisoi sijoituksen kannattavuuden ja mikäli toimenpiteen uusimisväli esitetään yhdessä takaisinmaksuajan kanssa, laskentatapaa voidaan pitää relevanttina kannattavuustarkastelun välineenä.

5.1.4 Nettonykyarvo

Nettonykyarvo kertoo tulevaisuudessa saatavan rahasumman arvon nykyhetkessä. Yksittäisen tulevaisuudessa tapahtuvan suorituksen nettonykyarvo lasketaan kaavalla (Taylor 1975)

$$P = S \frac{1}{(1 + i)^n},$$

jossa P on nykyarvo, S on rahasumman arvo tulevaisuudessa, i on laskentakorkokanta ja n ajanhetki tulevaisuudessa. Yhtälöstä seuraa, että nettonykyarvo on sitä suurempi mitä pienempi käytetty laskentakorkokanta on, mitä lyhyempi laskenta-aika on ja mitä suurempi tulevaisuuden rahasumma on.

Kassavirtojen eli useamman peräkkäisen kertaluontoisen suorituksen nykyarvon määrittäminen on periaatteellisesti erilaista yksittäisen rahasumman nykyarvon määrittämiseen. Kassavirran kokonaissummaa ei diskontata nykyhetkeen kertasuoritteena, sillä maksu on saatu osissa. Nykyhetken arvon määrittäminen tehdään sen sijaan diskonttaamalla jokainen yksittäinen kertasuoritus ja laskemalla suoritukset yhteen, jolloin lähitulevaisuudessa saatavat suoritukset ovat arvokkaampia kuin kauempana tulevaisuudessa saatavat suoritukset. Tämä tuntuu loogiselta, sillä jo saadut maksut voidaan käyttää miten halutaan, esimer-

kiksi sijoittamalla uudestaan tai käyttää muulla tavalla. Mikäli investoinnilla on jäännösarvoa tarkastelukauden lopussa, se voidaan diskontata nykyhetkeen ja lisätä tarkasteluun. Alla on esitetty nettonykyarvon kaava.

$$P = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} - H,$$

jossa n on hetki ajanjakson lopussa, t on tarkasteluhetki, S on vuosittainen tuotto, i on laskentakorkokanta ja H on investointi.

Nettonykyarvo on takaisinmaksuaikaa tarkempi kannattavuustarkastelun väline, sillä se ottaa huomioon sekä tarkastelukauden pituuden että laskentakorkokannan. Kiinteistön korjaamisen tarkastelussa erilaisten rakennusosien ja järjestelmien käyttöikä on oleellinen tekijä.

5.1.5 Sisäinen korkokanta

Sisäinen korkokanta on se laskentakorkokanta, jolla investoinnin kassavirran nettonykyarvo valitulla laskenta-ajalla on nolla. Sisäistä korkokantaa verrataan tuottoastevaatimukseen ja jos sisäinen korkokanta on suurempi kuin tuottoastevaatimus, sijoitus on kannattava. Vaihtoehtoisista investointikohteista kannattavin on se, jonka sisäinen korkokanta on suurin. Sisäinen korkokanta voidaan ratkaista nettonykyarvon kaavasta, jolloin ratkaisu on n :nnen asteen yhtälö. Tämän ratkaisuun tarvitaan laskentaohjelmistoa. Sisäinen korkokanta voidaan ratkaista myös iteroimalla ja lopullisena arvona käytetään riittävän tarkkaa likiarvoa. (Alhola & Lauslahti 2006)

5.1.6 Herkkyystarkastelu

Investoinnin kannattavuustarkastelu perustuu lähes aina epävarmoihin arvioihin. Kannattavuuden kannalta on välttämätöntä tarkastella, miten paljon muuttujien arvojen heilahtelut vaikuttavat investoinnin kannattavuuteen. Investointilaskelmalle on hyvä suorittaa herkkyystarkastelu, jolla saadaan selville, mitkä ovat merkittävimpiä investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Herkkyystarkastelu suoritetaan investoinnin peruskomponenteille, jotka ovat perusinvestointi, nettotulot, investoinnin pitoaika, jäännösarvo sekä laskentakorko. Herkkyysanalyysin suorittamiseen on olemassa lukuisia eri matemaattisia välineitä.

Tässä tutkimuksessa sovelletaan Ahon (1982) yhden parametrin herkkyysanalyysiä, jolla saadaan kunkin muuttujan suhteellinen merkitys selville. Herkkyysanalyysissä suoritetaan kolme laskentakierrosta. Ensimmäinen kierros lasketaan suunnitelluilla arvoilla. Investoinnin suunnitellut arvot pyritään määrittämään mahdollisimman tarkasti. Toisella kierroksella jokaista muuttujaa muutetaan kerrallaan 10 % epäedullisempaan suuntaan.

Saatua kannattavuutta verrataan suunnitteluarvoon ja lasketaan muutoksen aiheuttama prosentuaalinen vaikutus. Kolmannella kierroksella kutakin parametria muutetaan kerrallaan 10 % edullisempaan suuntaan ja verrataan suunnitteluarvoon.

5.2 Energiaremontin erityispiirteet

5.2.1 Tarkastelujakso

Kannattavuuslaskennan kannalta tarkastelujakson määrittäminen on hyvin oleellista. Kiinteistön elinkaarilaskelmien tarkastelujakso voidaan valita eri perustein. Kouhia et al. (2010) on tutkimuksessaan valinnut tarkastelujaksoksi peruskorjausvälin, mikä tyypillisesti on noin 40 vuotta. Ympäristöministeriön ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyönä tekemässä selvityksessä (Nissinen et al. 2012) asuinrakennuksen tarkastelujaksona on käytetty 30 vuotta ja toimistorakennuksen tarkastelujaksona 20 vuotta. Heljon & Viholan (2011) tutkimuksessa on käytetty tarkastelujaksona 37 vuotta, mikä on määritetty eri rakennusosien remonttien käyttöikien keskiarvona korjauskustannuksilla painotettuina. Heljo et al. (2012) Heljo & Vihola painottaa, että korjausten aikaistaminen täytyy tarkastella huolellisesti koko rakennuksen oletetun omistusaajan yli. Jos rakennusosa uusitaan tai korjataan ennen sen elinkaaren päättymistä peruskorjauksen ja energiaparannuksen takia, energiaremontille tulee jyvittää jäljellä olevan teknisen käyttöiän suuruinen osa uusimiskustannuksista.

Tarkastelujaksoksi voi myös valita laina-ajan, jonka aikana investointia varten otettu laina maksetaan pois. Tällöin investointi otetaan huomioon ainakin sen kustannusten realisoitumisen ajan. Samalla nähdään, maksaako investointi itsensä takaisin laina-ajan kuluessa.

Kiinteistönomistajan strategia on ehkä luontevin tapa valita tarkastelujakso. Mikäli kiinteistönomistaja tietää hallinnoivansa rakennusta samanlaisessa käyttötarkoituksessa vielä useita vuosia tai jopa vuosikymmeniä, elinkaarilaskelmat voidaan tehdä relevanteilla tarkastelujaksoilla. Tarkastelujakso voi tulla kiinteistönomistajan strategiaan esimerkiksi ARA- tai ARAVA-lainoitetuista kiinteistöistä, joissa kiinteistön käytölle on annettu tiukat ehdot. Toisaalta kiinteistönomistajan päätös omistuksen jatkosta saattaa riippua energialaskennan ja tulevaisuuden korjauskustannusten tuloksista.

Heljon & Viholan (2011) tutkimuksen perusteella tarkastelujakson valinnassa tulee huomioida korjausten ajoittaminen mahdollisimman optimaalisesti. Näin ollen jokaiselle tarkastelujaksolle tulee valita rakennuksen teknisen kunnon perusteella optimaalinen korjauskokonaisuus ja tarkastelujaksoina käytetään kiinteistönomistajan määrittämiä reuna-ehtoja.

Eri tutkimusten perusteella kiinteistöön tehtyjen energiaremonttien takaisinmaksuaika on joka tapauksessa pitkä, joskus kymmeniä vuosia. Asunto-osakeyhtiöissä osakas ei välttämättä koe remonttia kannattavaksi, mikäli investointikustannus näkyy asunnon lainaosuudessa heti, mutta todellinen hyöty rahoitusvastikkeen maksun jälkeen näkyy vasta seuraavan asukkaan taloudessa. Asunto-osakeyhtiöissä perusteltu tarkastelujaksona voisi olla osakkaan keskimääräinen osakkeenomistusaika. Sen sijaan yritykset ja säätiöt asuin-kiinteistöjen omistajina hallinnoivat rakennuksia useiden vuosikymmenten ajan. Kiinteistöosakeyhtiössä voidaan käyttää kiinteistönomistusstrategiaan perustuvaa hallinta-aikaa tarkastelujaksona.

5.2.2 Likviditeetti

Likviditeetti tarkoittaa vapaasti selitettynä sitä, kuinka helposti omaisuutta voidaan muuttaa rahaksi. Käteinen raha mielletään likvideimmäksi omaisuudeksi ja osakkeet ja arvopaperit ovat myös hyvin helposti muutettavissa rahaksi. Kiinteän omaisuuden muuttaminen rahaksi vie enemmän aikaa ja aineettoman omaisuuden muuttaminen rahaksi saattaa olla jopa mahdotonta. Kiinteistö- ja asuntomarkkinoilla samaa ajatusta voidaan johtaa siten, että Helsingin keskustassa sijaitsevan yksión likviditeetti on parempi kuin syrjäisellä paikkakunnalla sijaitsevan kerrostaloasunnon. Myös kokonaisen kiinteistön likviditeetti on oleellisesti parempi kuin sen osan; maalämpöinvestoinnilla ei käytännössä ole likviditeettiä, sillä sitä ei voi muuttaa rahaksi ilman, että koko kiinteistö myydään. Markkinoilla sijoittajat ottavat likviditeetin huomioon suuremmalla riskipreemiolla. Tämän voi selittää ajatuksella: Mikäli sijoituksesta on hankala hankkiutua eroon, sen tuoton on oltava houkuttelevampi. Pricewaterhouse Coopersin mukaan (2012) ammattisijoittajien keskuudessa sijoituksen epälikvidi sijoitus huomioidaan keskimäärin 6,5 % lisäriskipreemiolla.

Energiatehokkuustoimenpiteiden laskennassa tulisi ottaa huomioon investoinnin epälikvidi luonne, kun tarkastelu rajataan koskemaan lisäinvestointia energiatehokkuuteen. Perusinvestointi tehdään pakollisten korjaustoimenpiteiden takia, eikä Neilimon & Uusi-Rauvan (2005) periaatteen mukaan pakollisille investoinneille tule allokoita tuottoastevaatimusta.

5.2.3 Energian hinnan vaikutus

Energian hinta muodostuu energiaa myyvän yrityksen kustannuksista, kuten primäärienergian hankinnasta, energian tuotosta ja siirrosta, sekä energian verotuksesta. Energian hinnan nousu vaikuttaa oleellisesti energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuteen. Hinnan nousu vaikuttaa laskevasti tuottoastevaatimukseen. Kun energian hinta on nousussa, investoinnin tuottamat kustannussäästöt nousevat ja pienempi tuottoaste riittää. Energian hinta ja hinnan kasvunopeus vaihtelevat energiamuodosta ja vuodesta riippuen voimakkaasti. Kurvinen et al. (2012) käyttävät energian reaalisen kasvunopeutena 2 %

vuodessa. Energiateollisuus ry (2015) esittää kaukolämmön sekä muiden energiamuotojen kymmenen vuoden aikajänteellä noudattavan karkeasti 7 % nimellistä hinnan nousua. Tilastokeskuksen (2015) mukaan inflaatiokorjattuna reaalin energian hinnan nousu olisi noin 5 % luokkaa. Tilastokeskuksen oman tilaston mukaan vuosien 2004 – 2015 aikana kaukolämmön reaalin hinnan nousu tavanomaisille kerrostaloille on ollut keskimäärin 3,5 % luokkaa. On hyvä huomata, että eri energiamuodoilla on erilainen kasvunopeus. Vuonna 2015 öljyn hinta on laskenut, mikä on historiallisesti harvinainen kehityssuunta. Monet tahot kuitenkin ennustavat eri resurssien sekä fossiilisten polttoaineiden vähenevän merkittävästi, mikä johtaa vääjäämättä energian hinnan nousuun.

5.2.4 Ilmaston lämpenemisen vaikutus

Ilmastonmuutoksen mukanaan tuomat kasvaneet sademäärät sekä ilmaston globaali lämpeneminen vaikuttavat rakennusten energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuuteen. Vinha et al. (2013) toteaa tutkimuksessaan, että kuluvan vuosisadan aikana lämpötila nousee Etelä-Suomessa keskimäärin 2 – 6 °C. Tämä heikentää merkittävästi rakennusten lämmöneristeisiin vaikuttavien energiatehokkuustoimenpiteiden edullisuuteen ja kasvat-
taa keinotekoisien jäähdytyksen tarvetta. Ilmaston lämpeneminen voidaan ottaa huomioon laskentakoron lisäriskikomponenttina tai lämpöenergiälaskuissa lämmitystarveluvussa. Lämmitystarvelukuna käytetään normaalisti kyseisen paikkakunnan arvoa, mutta ilmas-
tonmuutos voidaan ottaa huomioon esimerkiksi käyttämällä sellaisen paikkakunnan ar-
voa, jonka lämmitystarveluku on pienempi. Laskennan luotettavuus voidaan ottaa huo-
mioon herkkyytarkastelulla. Ilmastonmuutos vaikuttaa Vinhan et al. (2013) mukaan
myös rakenteiden kosteustekniseen pitkäaikaiskestävyyteen.

5.2.5 Tuettu rahoitus ja avustukset

Investointiin saatavat avustukset laskevat luonnollisesti perusinvestoinnin määrää avus-
tuksen määrällä tehden investoinnista kannattavamman. Erilaiset rahoituksen tuet, kuten
lainan takaus, korkotuki tai muuten edullinen laina laskevat hankkeen riskiä ja rahoituk-
sen tuki voidaan ottaa huomioon laskentakorkokannassa. Avustukset ja rahoituksen tuki
ovat tavallisesti peräisin valtiolta ja kunnilta. Valtion tukea koordinoi Asumisen rahoitus-
ja kehityskeskus, joka ympäristöministeriön alaisena vastaa asuntopolitiikan toimeenpa-
nosta. Kunnat päättävät itsenäisesti tukimuodoista, mutta yleensä tuki perustuu ARA:n
ohjeistukseen. Tällä hetkellä asuinkerrostalojen energiakorjauksiin ei ole kohdennettu
avustuksia tai tukia. Avustuksissa painottuvat erityisryhmien investointiavustukset sekä
terveellisen asuin ympäristön avustukset. Korkotukilainat ja muu rahoituksen tuki koskee
pääsääntöisesti uudiskohteita. (ARA 2015, Rönty & Paiho 2012)

5.2.6 Arvonnousu

Kun puhutaan rakennuksen arvosta, on tehtävä ero teknisen arvon ja markkina-arvon välille. Tekninen arvo tarkoittaa rakennuksen osien ja järjestelmien teknisten ominaisuuksien kuntoa. Yleensä ajatellaan, että rakennus kuluu hiljalleen käytössä ja ylläpidosta huolimatta eri järjestelmät rapistuvat ja muuttuvat vanhanaikaisiksi. Osa rakennuksesta on kuitenkin luonteeltaan sellaista, ettei se juuri kulu. Tämä osa sisältää muun muassa runkorakenteet, joiden päälle asennetut pintamateriaalit suojaavat runkoa kulutukselta. Kulumattomien osien suhteellinen osuus rakennuksesta on noin 30 %. Rakennuksen tekninen arvo laskee keskimäärin 50 vuoden ajan, minkä jälkeen rakennuksesta on enää runko jäljellä. Peruskorjauksessa rakennus palautetaan entiselleen rakennuksen valmistumisvuotta vastaavaan tilanteeseen. Käyttäjien vaatimukset ovat kuitenkin ajan myötä kasvaneet, joten ei riitä, että rakennus palautetaan tekniseltä tasoltaan alkuperäiseksi. Rakennuksen teknistä arvoa palauttavaa sekä nostavaa kunnostusta kutsutaan perusparannukseksi. Silloin rakennus saatetaan nykyvaatimusten mukaiseen tilaan. On selvää, että kiinteistön teknisen arvon lisäksi myös markkina-arvo nousee mittavan perusparannuksen jälkeen. (Haahtela 2014, Kaivonen et al. 1995)

Kiinteistön markkina-arvoa voidaan mitata monella tavalla. Markkina-arvona voidaan pitää kohteen kysynnän perusteella määräytyvää myyntihintaa. Kysyntä riippuu rakennuksen ja alueen profiilista, ominaisuuksista ja sijainnista. Markkina-arvo voidaan määritellä myös tuloksentekokyvyn tai vastaavien kohteiden arvon mukaan. Kiinteistön markkina-arvon nousua ei kuitenkaan voi päätellä korjauskustannusten perusteella. Eri lähteiden mukaan onnistunut ja kustannustehokas remontti saattaa nostaa asuntojen ja samalla analogialla kiinteistön hintaa jopa kustannuksia enemmän, mutta on myös tapauksia, joissa arvonnousu on jäänyt korjauskustannuksia pienemmäksi. (KTI & IPD 2012)

Arvonnousu otetaan energiatehokkuusinvestoinneissa huomioon investoinnin jäännösarvona laskenta ajan lopussa. Jäännösarvo on heti korjauksen jälkeen kiinteistön arvonnousun suuruisen, mutta arvonnoususta huomioidaan vain energiatehokkuustoimien suuruisen osa. Energiaparannuksen osuus arvonnoususta vastaa energiaparannuksen osuutta korjaushankkeen kokonaiskustannuksista. Tällöin energiatehokkuustoimenpiteiden osuus korjaushankkeen kustannuksista sekä arvonnoususta on keskimäärin 15 – 20 %. Arvonnousun tuottama jäännösarvo kuitenkin laskee vuosien kuluessa teknisen arvon lasiessa. Mikäli energiaparannuksen tarkastelujaksoksi valitaan perusparannusväli, n. 30 – 50 vuotta, on turvallista olettaa, ettei jäännösarvoa juurikaan ole jäljellä hetkeä ennen seuraavaa perusparannusta.

Mikäli alueen arvo kuitenkin nousee korjaustoiminnan seurauksena, tällaista markkina-arvon nousua voitaisiin käyttää laskennassa jäännösarvon määrittämisessä. Alueen arvon kehityksen komponentteja on vaikea arvioida, eikä sitä ole tässä tutkittu enempää.

5.2.7 Energiaremontti investointina

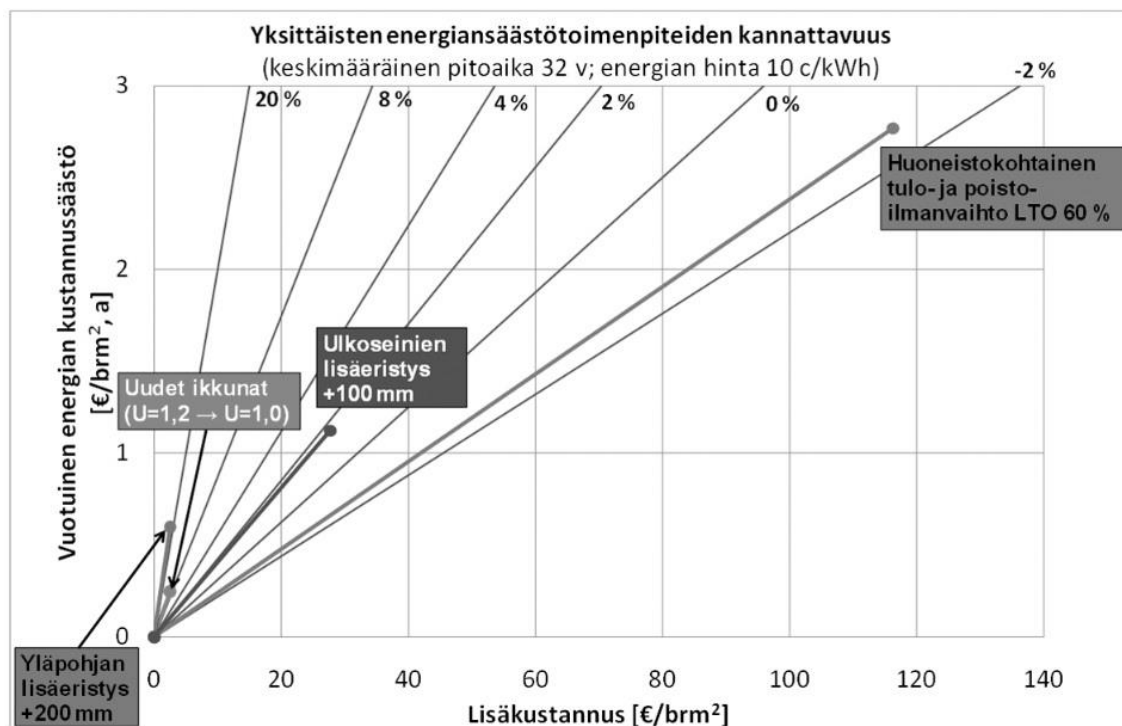
Energiaremontti investointina eroaa huomattavasti kiinteistön ostamisesta ja omistamisesta sekä osakekaupasta. Siinä missä kiinteistön tai osakeomistuksen voi myydä halutulla hetkellä, energiaremontista ei pääse eroon. Energiaremontti on sijoitus, jolla ei juurikaan ole jälkimarkkinoita ja siitä voi hankkiutua eroon vain myymällä koko kiinteistön. Energiaremontti rinnastuu perinteistä kiinteistöliiketoimintaa paremmin teollisuuden laiteinvestointeihin, joilla pyritään tekemään edellistä laitetta parempaa tulosta. Energiakorjaus on sijoituksena epälikvidi ja sen jäännösarvo on tarkastelujakson lopussa vähäinen.

Teoriassa sijoittaja voi sijoittaa varansa pörssiin, jossa pääoma kasvaa korkoa korolle tarkastelujakson ajan. Markkinoiden keskimääräisen 7 % tuoton vaikutuksesta sijoituksen arvo lähes kaksinkertaistuu kymmenessä vuodessa (Finanssivalvonta 2012). 40 vuoden tarkastelujakson lopussa sijoituksen arvo on 15-kertainen alkuperäiseen sijoitukseen verrattuna. Vaihtoehtoisesti sijoittaja voi sijoittaa varansa kiinteistöön ja tulos perustuu vuokratuloihin. Suuri osa kiinteistön hinnasta koostuu tonttimaasta ja hyviltä paikoilta olevien kiinteistöjen arvot ovat nousseet huomattavasti yleistä inflaatiota enemmän kuluneiden vuosikymmenten ajan muun muassa alueiden kehityksestä johtuen. Lisäinvestointi energiatehokkuuteen on luonteeltaan erilainen ja sen markkina-arvo laskee vuosien kuluessa. Energian hinnan inflaatiota nopeampi kasvu parantaa investoinnin tuottoastetta vuosittain, mutta toisaalta ilmastonmuutoksen vaikutus heikentää energiasäästöjä. Näin ollen lisäinvestoinnin energiatehokkuuteen tulee olla tuottoasteeltaan riittävän korkea ollakseen kilpailukykyinen muihin pääoman sijoituskohteisiin verrattuna. Högbergin et al. (2009) mukaan kiinteistönomistajat toteuttavat energiatehokkuustoimenpiteitä sen mukaan, miten heidän toimintaansa ohjaa tulostavoitteet tai ideologiat. Tulorientoituneet kiinteistönomistajat toteuttavat vain tuottavia energiatehokkuustoimenpiteitä. Ideologiset toimijat saattavat perustella energiatehokkuustoimenpiteitä muilla arvoilla kuin puhtaasti taloudellisilla kannattavuuslaskelmilla.

5.3 Kannattavuuden vertailu

Aikaisemmin tässä luvussa käsitellyt laskentamenetelmät kertovat tunnuslukuja kannattavuudesta. Varsinainen kannattavuustarkastelu tehdään vertaamalla eri vaihtoehtoja keskenään. Usein vertailussa ovat vastakkain lähtötilanne, perusratkaisu sekä erittäin energiatehokas ratkaisu. (Abdurafikov et al. 2014). Erilaisista toimenpiteistä tehdään kokonaisuuksia, joille voidaan laskea edellä käsitellyillä menetelmillä kannattavuuden tunnuslukuja. Tämän jälkeen eri toimenpidekokonaisuuksien tunnuslukuja vertaillaan keskenään. Kannattavuustarkasteluille on ominaista, että eri tunnusluvut asettavat toimenpidekokonaisuuksien eri kannattavuusjärjestykseen.

Energiatehokkuuden parantamisen toimenpidekokonaisuuksia voidaan valita lukematon määrä. Lähtökohtana rakennuksen korjaamiselle ja parantamiselle on olemassa olevan rakennuksen korjaustarve, mikä osaltaan määrittää energiatehokkuuden parantamisen vaihtoehtoja. Heljo & Virta (2012) sekä Kurvinen et al. (2012) ovat koonneet energiatehokkuustoimenpiteet ”paketeiksi” siten, että erillisten toimenpiteiden yksittäiset kannattavuudet käyvät ilmi. Kuva 9 havainnollistaa mallia.



Kuva 9. Energiansäästötoimen sisäiset korkokannat. (Kurvinen et al. 2012)

Toimenpiteet asetetaan kannattavuusjärjestykseen sisäisen korkokannan perusteella ja kannattavimmista toimenpiteistä tehdään paketit siten, että kokonaisuuden sisäinen korkokanta on suurempi kuin tuottoastevaatimus.

Kannattavuutta tarkastellaan määrittämällä minimikorjauksen sekä vaihtoehtoisen korjauksen välistä lisäinvestointia sekä lisäenergiansäästöä. Minimikorjaus usein aiheuttaa itsessään kustannussäästöjä, kun ikkunoita vaihdetaan uudempiin, seiniä paikataan ja elementtisaumoja uusitaan. Lisäinvestoinnissa koko seinä saatetaan vuorata lisäeristeellä ja uudella verhouksella. Vaihtoehtoinen korjaus maksaa enemmän, mutta se myös tuo säästää enemmän energiaa. Oleellista on laskea lisäinvestoinnin ja lisäenergiansäästön kannattavuutta ja verrata kaikkia vaihtoehtoisia korjaustoimenpidepaketteja keskenään. (Kurvinen et al. 2012)

6. TUTKIMUKSEN KULKU, MENETELMÄT JA KOHDE

Tutkimuksen empiirinen osuus on luonteeltaan määrällinen tapaustutkimus. Tapaustutkimuksessa valittua teoriaa sovelletaan käytännön kohteeseen, mikä konkretisoi tutkimusta. Tässä kohteena oli rakennus, johon on tulossa julkisivuremontti. Kiinteistönomistaja pohdii, voisiko rakennuksen energiatehokkuutta parantaa kannattavasti vai toteuttaa mahdollisimman edullinen remontti.

6.1 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksen alussa kiinteistönomistajalta kerättiin kaikki tarpeellinen tieto kohteesta. Kerätty materiaali koostui alkuperäisistä rakenne- ja arkkitehtipiirustuksista sekä kohteen perusparannuksen aikaisista rakennekuvista. Kuvien lisäksi perusparannuksesta saatiin urakka-asiakirjat. Kohteesta saatiin myös kaksi kuntotutkimusraporttia, jotka koskivat pysäköintihallia sekä julkisivuja ja parvekkeita. Tämän lisäksi tarkasteltiin kohteesta tehtyä kuntoarviota. Dokumentteja täydennettiin kysymällä kiinteistönomistajalta lisää tietoa tarpeellisista asioista. Tiedonkeruun jälkeen ryhdyttiin rakentamaan laskentamallia energiatehokkuusinvestointien kannattavuuden tarkasteluun.

Ensin tutustuttiin kohteen ominaisuuksiin ja korjaustarpeeseen. Nykytilanteen lisäksi rakennuksen korjaustarpeet selvitettiin riittävän pitkälle tulevaisuuteen. Kohteen teknisestä käyttöiästä riippuu, minkä pituinen ajanjakso on riittävä. Koska oli odotettavissa, että remontilla tavoitellaan pitkää käyttöikää, tarkastelujaksoksi valittiin 30 vuotta.

Kun nykyinen ja tuleva korjaustarve sekä kohteeseen soveltuvien toimenpiteiden joukko olivat selvillä, eri vaihtoehtoista koottiin toimenpidepakettit. Toimenpidepaketeista selvitettiin energiansäästöt sekä korjauskustannukset. Ensimmäisenä koottiin minimikorjauksen toimenpidepaketti kuntotutkimusten perusteella. Tämän jälkeen koottiin vaihtoehtoiset toimenpidepakettit. Pakettien toimenpiteet valittiin siten, että ne soveltuvat kohteeseen ja ovat joko täydentäviä tai vaihtoehtoja minimikorjauksen toimenpiteille. Vaihtoehtoisten toimenpiteiden kustannuksia sekä energiansäästöjä verrattiin minimikorjaukseen ja niiden lisäinvestoinnit ja lisäenergiansäästöt määritettiin. Näistä voitiin laskea toimenpidepakettien kannattavuudet, joiden perusteella päätöksentekijä valitsee toimenpiteen.

Investointilaskennassa laskenta-ajaksi valittiin 30 vuotta. Tämän oletetaan olevan kiinteistönomistajan strategian mukainen aika hallinnoida rakennusta. Laskelmissa kustannuksia, säästöjä ja laskentakorkokantaa tarkasteltiin reaalisisina arvoina.

Laskentakoron lähtökohdaksi otettiin olettaa, että kiinteistönomistaja saa lainaa pankista 1% marginaalilla. Tutkimuksessa on tarkasteltu, saavutetaanko energiatehokkuustoimenpiteillä rahamääräisiä tuottoja lainanhoitokulujen lisäksi.

Kiinteistönomistajalle ei riitä, että saa maksettua pankille 1% marginaalin. Lainanhoitokulujen lisäksi kiinteistönomistaja lisää tuottovaatimuksensa maltillisen 3 % preemion ja tuottoasteeksi muodostuu 4 %. Tutkimuksessa on painotettu tätä näkökulmaa.

Luvun 5 perusteella sijoittajan pitäisi ajatella energiakorjausta kiinteistöliiketoimintaa epälikvidimpänä sijoituksena. Reaaliseksi tuottoasteeksi on valittu 7 %.

Tässä luvussa esitellään laskentamallit, korjausvaihtoehdot sekä korjauskustannukset. Luvussa 7 Tulokset esitellään korjausvaihtoehtojen kannattavuuslaskelmien tulokset.

6.2 Laskentamallit

6.2.1 Energiankulutusmalli

Energiatietojen, rakennepiirustusten sekä kuntotutkimuksen ja –arvion perusteella lähtötilanteen energiankulutuksesta laadittiin energiankulutusmalli. Mallin lukuarvot laskettiin luvun 3 mukaisesti. Malli on esitetty liitteessä A.

Energiankulutusmalli tehtiin iteroimalla eli muuttamalla eri parametreja siten, että energiankulutus on samaa tasoa todellisen energiankulutuksen kanssa. Todellinen energiankulutus riippuu hyvin merkittävästi asukkaiden käyttäytymisestä ja tuuletustottumuksista, minkä osuutta energiankulutuksessa on vaikea arvioida. Tämä huomioidaan laskelmien luotettavuutta arvioitaessa.

Ulkoseinien U-arvot perustuvat alkuperäisiin rakenneleikkauksiin. Kuntotutkimuksissa huomattiin, että ulkoseinien eristekerros on elementtien valumenetelmästä johtuen suunniteltua ohuempi. U-arvot on laskettu todellisilla eristepaksuuksilla. Ylä- ja alapohjan leikkausta ei ollut saatavilla ja niiden arvot ovat peräisin rakennusajankohdan mukaisista normeista. Ikkunoille ja ulko-oville on käytetty rakenteelle tyypillistä U-arvoa, mikä on rakennusajankohdan normien mukainen. Vaipparakenteen kylmäsillat on arvioitu rakentamismääräyskokoelman mukaisesti.

Vaipan ilmavuodot vaikuttavat merkittävästi rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen. Suuri osa vaipan ilmavuodoista tapahtuu ikkunoiden rakojen sekä ikkunan seinäliitoksen kautta. Kuntoarvion mukaan asukkaat valittivat, etteivät ikkunat sulkeudu kunnolla, mikä indikoi merkittävää ilmavuotoa. Lisäksi ilmavuotoja on arvioitu tapahtuvan vanhan yläpohjan sekä ulkoseinien läpi. Ilmanvuotoluvuksi on arvioitu $q_{50}=10$, mikä on rakentamismääräyskokoelman mukaan mahdollinen rakennuksessa, jonka tiiveydessä on puutteita.

Ilmanvaihtomääristä ei ollut tietoa saatavilla. Ilmanvaihtomääräksi on arvioitu nykynormien mukainen 0,5 l/h. Lämmöntalteenoton hyötysuhdetta on vaikea arvioida kohteessa, jossa vain osa tiloista on lämmöntalteenoton piirissä. Tämän lisäksi LTO:n hyötysuhdetta ei mitata, joten myös asuntojen osalta lämmöntalteenoton hyötysuhdetta on hankala arvioida. Hyötysuhteeksi on arvioitu 30 %, sillä talon tilavuudesta suurin osa on asuinkäytössä. Hyötysuhde on todennäköisesti optimistinen, mutta samalla korjausvaihtoehtojen suhteen varmallalla puolella. Lähtötilanteen hyötysuhteen yliarvioiminen heikentää LTO-remonttien kannattavuutta.

Energian hintoina on tässä käytetty Tampereen Sähkölaitoksen (2015) ilmoittamia verottomia hintoja. Kaukolämmön keskimääräiseksi hinnaksi on arvioitu 0,065 €/kWh (alv 0%).

Kohteen ominaisuuksien perusteella lämmitysenergian kulutus on laskettu aikaisemmin esitettyjen kaavojen avulla. Lämmitysenergiankulutuksen lisäksi on arvioitu käyttöveden lämmitykseen kuluva energiaa sekä sähköenergiankulutusta. Näiden perusteella on esitetty ostoenergian määrä. E-lukua ei ole laskettu rakentamismääräyskokoelman mukaan, sillä sen perusteella ei voida määrittää todellista energiakustannuksen säästöä.

Korjausrakentamisen energiamääräysten mukaan korjausratkaisun tulee täyttää jokin luvussa 2 esitetystä energiatehokkuusvaatimuksesta. Vaatimukset ovat:

1. Rakennusosien U-arvo * 0,5
2. Ostoenergiankulutus alle 130 kWh/m²/a
3. Alkuperäinen E-luku * 0,85

Kolmas vaatimus liittyy E-luvun pienentämiseen. E-lukua ei tässä tutkimuksessa selvitetty, mutta sitä on arvioitu kuriositeettina. E-luku on arvioitu kaukolämmönkulutuksen ja sähköenergiankulutuksen perusteella. Lähtötilanteen E-luku arvio on 217 kWh/m²/a, joten korjausmääräysten edellyttämä E-luku on 184 kWh/m²/a.

6.2.2 Kustannustieto

Korjausvaihtoehtojen kustannuksia arvioitiin lähdekirjallisuuden perusteella. Korjauskustannukset perustuvat Rakennustieto Oy:n kustantamaan Korjausrakentamisen kustannuksia 2015 kirjaan, Haahtela-kehitys Oy:n kustantamaan Talonrakennuksen kustannustieto 2014 kirjaan. Kustannustietokirjoissa hinnat on esitetty arvonlisäverottomina hintoina. Kirjojen tietoja täydennettiin eri materiaalivalmistajien ilmoittamilla kuluttajahinnoilla, joista poistettiin arvonlisäveron osuus.

Kustannuslähteistä löydettiin materiaalin ja työn välittömät kustannukset. Välillisten kiinteiden kulujen osuudeksi on arvioitu 20 % välittömien kustannusten hinnasta ja tämä

on lisätty välittömien kustannusten päälle. Välillisiin kustannuksiin sisältyvät työjohto- ja työmaakustannukset sekä suunnittelukustannukset.

Todellisissa kustannuksissa olisi mukana eri urakoitsijoiden oman organisaation kiinteitä kuluja, voittomarginaalit sekä erilaiset riskivaraukset. Jokainen aliurakoitsija lisäisi omaan urakkasummaansa vastaavat kustannukset. Todellisiin kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi myös kohteen erityispiirteet, markkinatilanne sekä urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kokemus vastaavista kohteista. Todellisten kiinteistön omistajalle kohdistuvien kustannusten arvioiminen on haastavaa ja vaatisi tietokantaa vastaavien korjaushankkeiden kustannuksista. Kustannustieto on urakoitsijoiden ja konsulttitoimistojen liiketoiminnassa arvokasta aineetonta pääomaa, eikä sitä saatu hankittua riittävästi tähän tutkimukseen.

Tutkimuksessa on päädytty käyttämään välittömiä työ- ja materiaali kustannuksia, sekä niiden päälle 20 % kiinteiden kustannusten osuutta. Vaikka käytetyt kustannukset ovat todellisia kustannuksia alhaisempia, niitä voidaan pitää luotettavina arvioina työmaan välittömistä kustannuksista ennen katetta. Korjausvaihtoehtojen kesken välillisten kustannusten osuus on karkeasti samaa luokkaa. Kun vaihtoehtojen kustannuseroja vertaillaan, suurimmat erot perustuvat välittömiin kustannuksiin. Heljon & Viholan (2012) mukaan energiatehokkuutta parantaville lisäinvestoinneille ei pitäisi allokoida mitään kiinteitä kuluja, sillä ne sisältyvät hankkeeseen joka tapauksessa. Tässä välittömien kustannusten lisäksi oleva 20 % perustuu Haahtela-kehitys Oy:n (2014) periaatteeseen. Näin ollen puutteellisen kustannustiedon perusteella voidaan arvioida karkeasti eri lisäinvestointien kannattavuutta.

6.3 Kohteen ominaisuudet

Kohteesta selvitettiin ne ominaisuudet, jotka ovat energiatehokkuustarkastelun näkökulmasta oleellisia. Alla olevassa taulukossa on kerrottu kootusti rakennuksen yleistiedot.

Rakennusvuosi	1968
Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo, betonielementti
Kerroksia	7 ja 8 + kellari ja pysäköintihalli
Asuntoja	134 kpl sekä liiketilaa
Kerrosala	n. 6 645 m ²
Huoneistoala	n. 4 175 m ²
Tilavuus	n. 30 200 m ³

Ulkomitat	n. 18 m * 65 m * 24 m
Runkojärjestelmä	"Kirjahylly"
Muotokieli	Julkisivu on yksinkertainen ja säännöllinen
Päätyseinät	Sandwich-elementti, kantava, klinkkerilaatta pinta
Pitkät sivut	Sandwich-elementti, ei-kantava, maalattu pinta
Ulkoseinän eriste	n. 70 mm mineraalivillaa $U \approx 0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$
YP	Tasakatto, puurakenteinen teräsbetoniholvin päällä, hyvin matala tuuletustila. $U \approx 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ikkunat	Alkuperäiset MS-ikkunat, $U \approx 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
IV-järjestelmä	Asunnoissa tulo-poistojärjestelmä lämmöntalteenotolla, muuten pääosin poistojärjestelmä
Lämmitysjärjestelmä	Kaukolämpö, vesikiertoinen patterilämmitys
Tehdyt remontit	<ul style="list-style-type: none"> - 1998: Peruskorjaus - 2006: Elementtisaumoja uusittu sekä klinkkerilaattoja vaihdettu - 2009: LV-säätöjä tehty sekä venttiileitä uusittu - 2015: Uusittu moottoriventtiilit
Tehdyt kuntotutkimukset ja -arviot	<ul style="list-style-type: none"> - 2011: Pysäköintihallin kuntotutkimus - 2013: Kuntoarvio, koko kohde - 2014: Kuntotutkimus, julkisivut ja parvekkeet

Rakennustekniikka

Kohde on kirjahyllyrunkoinen vuonna 1968 rakennettu betonielementtikerrostalo. Rakennus koostuu 7-kerroksisesta ja 8-kerroksisesta huoneistosiivestä sekä matalasta 1-2-

kerroksisesta liiketilasiivestä. Asunnot ovat pääosin yksiöitä ja sijaitsevat käytävän kummallakin puolella.

Rakennuksen kantavana järjestelmänä on kirjahyllyrunko eli päätyseinät ja niiden suuntaiset väliseinät sekä välipohjat ovat kantavia rakenteita. Pohjakerroksessa seinät, pilarit ja palkit siirtävät kuromat perustuksille, jotka ovat osin anturoita ja osin paaluja.

Päätyseinän kantavat elementit ovat sandwich-rakenteisia ja ulkokuori on sidottu sisäkuoreen ruostumattomilla teräsansailloilla. Ulkokuori on pinnoitettu klinkkerilaatoilla. Klinkkerilaattojen ansiosta betoni karbonatisoituu hitaasti. Betonia ei ole kuitenkaan lisähuokostettu, mikä lisää pakkasrapautumisen riskiä. Rakennepiirrosten mukaan eristekerroksen paksuus on 80 – 90 mm. Kuntotutkimuksissa 2014 selvisi, että elementtien kantavat sisäkuoret ovat hyvässä kunnossa. Myös päätyseinäelementtien ulkokuoret olivat olleet turvassa karbonatisoitumiselta tiiviin klinkkerilaattapinnan alla. Sen sijaan elementtien ulkokuoret olivat alkaneet elementin reunalueilta pakkasrapautua ja tästä johtui klinkkerilaattojen irtoilu. Rapautuva betoni aiheuttaa merkittävän turvallisuusriskin ja odotettavissa on, että rapautuminen kiihtyy tulevina vuosina. Kuntotutkija suositteli ulkokuoren lisäkiinnitystä sekä rakenteen verhoamiskorjausta 1 – 2 vuoden kuluessa tai ulkokuoren uusimista 5 vuoden kuluessa. Lisäksi kuntotutkimuksissa selvisi, että lämmöneriste oli kaikissa näytteissä painunut valmistusprosessissa kasaan ja todellinen eristepaksuus oli 70 mm.

Pitkien sivujen elementit ovat sandwich-tyyppisiä ruutuelementtejä, jotka kantavat vain ulkoseinälinjan kuorman. Ulkokuori on kiinnitetty sisäkuoreen ruostumattomilla teräsansailloilla. Ulkopinnassa on maalaus käsittely. Ulkokuoren betoni on lisähuokostettu pakkasrapautumista vastaan. Rakennepiirrosten mukaan eristekerroksen paksuus on 80 – 90 mm. Vuoden 2014 kuntotutkimuksissa selvitettiin ruutuelementtien tilaa ja kävi ilmi, että elementin ulkokuoren karbonatisoituminen oli tunkeutunut teräksiin saakka. Paikoittaista halkeilua oli havaittavissa, erityisesti katon rajassa. Pakkasrapautumista ei havaittu betonissa ja betonin todettiin olevan lisähuokostettua. Myös pitkillä sivuilla eristekerros oli 70 mm luokkaa. Kuntotutkija suositteli välttämätöntä huoltomaalausta ja vähäistä laastipaikkausta 2-3 vuoden kuluessa tai järeämpää laastipaikkausta, jossa vauriokohdat käsitellään huolellisesti. Kolmantena vaihtoehtona oli verhouskorjaus 5 vuoden kuluessa. Huoltopaikkaus on todennäköisesti uusittava terästen etenevän ruostumisen takia noin 10 – 15 vuoden kuluttua. Tällöin ei enää pelkkä huoltopaikkaus riitä, vaan on toteutettava perusteellinen laastipaikkaus. Perusteellisen laastipaikkauksen käyttöikä on 20 – 30 vuotta ja verhouskorjauksen käyttöikä on 30 – 50 vuotta.

Ikkunat sijaitsevat pääosin pitkillä sivuilla. Jokaisessa ruutuelementissä on noin 6m² kokoinen verrattain suuri ikkuna-aukko. Päätyseinillä on koko rakennuksen koruinen ikkunalinja käytävien kohdalla. Ikkunat ovat alkuperäisiä puisia kaksilasisia MS-ikkunoita. Ikkunoiden käyttöikä on noin 40 – 50 vuotta ja käyttöikänsä päässä. Vuoden 2013 kun-

toarvion perusteella asukkaat ovat valittaneet, että ikkunat sulkeutuvat huonosti. Silmämääräinen tutustuminen osoitti, että ikkunat ovat käyttöikänsä päässä, eikä ikkunoiden korjaaminen ole järkevää. Ulko-ovilla ei ole vastaavaa korjaustarvetta. Ulko-ovet ovat metallisia ja ne voidaan tarvittaessa tiivistää, säätää ja huoltomaalata.

Yläpohjarakenteena on teräsbetonilaatan päälle rakennettu kevyt ja tuulettuva puurunko. Ponttilaudoituksen päällä on bitumihuopakatto vesikatteena. Puurunko on matala ja eristetilaan mahtuu rakennusajan normien mukainen määrä mineraalivillaa tuuletusvälin kanssa. Räystäät ovat ajan arkkitehtuurin mukaisesti hyvin pienet. Peruskorjauksen yhteydessä 1998 selvitettiin yläpohjan lisäeristämisen mahdollisuutta alan urakoitsijalta. Urakoitsija totesi, että yläpohjarakenne on liian matala puhallusvillan lisäämiseen ja että toimenpide vaarantaisi katon tuuletuksen toimivuuden. Vuoden 2013 kuntoarvion mukaan vesikatteella on käyttöikää jäljellä noin 10 vuotta.

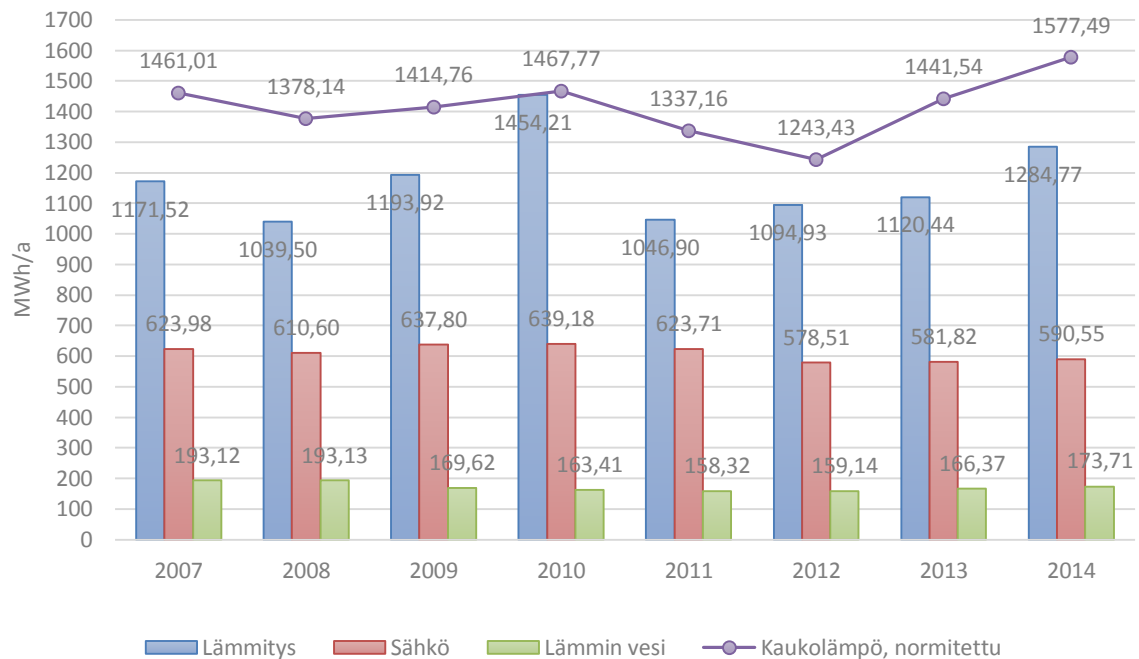
Talotekniset järjestelmät

Kohde kuuluu kaukolämpöverkkoon ja lämpö jaetaan vesikiertoisella patteriverkolla. Vuoden 1998 peruskorjauksen aikana osa lämpö- ja vesiputkista sekä viemäreistä uusittiin. Myös lämmönsiirtimet ovat peruskorjauksen ajalta kuntoarvion mukaan kohtuullisen hyvässä kunnossa. Vuonna 2009 kohteessa tehtiin kevyt parannus LV-järjestelmään. Asuntojen hanoihin asennettiin vedensäästösuuttimet, lämmitysverkko säädettiin ja samalla osa patteriventtiileistä uusittiin. Parannustoimenpiteellä ei kuitenkaan ollut toivottua vaikutusta ja vuonna 2014 kaikki lämmönjakokeskuksen lämmönvaihtimen kaukolämpövirtaa ohjaavat moottoriventtiilit uusittiin.

Kohteessa on useampia ilmanvaihtokoneita. Asuntojen osalta kohteessa on tulo-poitojärjestelmä, jossa on LTO-patteri. Liiketilän ja autohallin osalta kohteessa on tuloilmakone sekä poistopuhaltimia. Näiden yhteydessä ei ole lämmöntalteenottoa. Koneet ovat pääasiassa hyvässä kunnossa ja suurin osa laitteista on uusittu vuoden 1998 peruskorjauksen aikaan.

Energiankulutustieto

Kohteesta hankittiin energiankulutustietoa vuodesta 2007 vuoteen 2014. Kulutustieto on koottu alla olevaan kuvaajaan.



Kuva 10. Kohteen energiankulutus vuosina 2007 - 2014

Kuvaajasta voidaan tulkita lämmityksen, sähkön ja lämpimän veden kulutuksen vuosittaista vaihtelua. Lisäksi kuvaajaan on piirretty kaukolämmön normitettu energiankulutus. Lämmitysenergian normeeraus poistaa tarkasteluvuoden vaikutuksen rakennuksen lämmitysenergiankulutuksesta. Normituksessa lämmitysenergiankulutuksesta poistetaan ensin lämpimän käyttöveden osuus, sillä käyttöveden lämmityskustannus ei riipu suoranaisesti ulkolämpötilasta. Lämmitysenergiankulutus normeerataan kaavalla:

$$Q_{norm.} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{tot. \text{ vpkunta}}} \times Q_{tot.} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}},$$

jossa $Q_{norm.}$ on normeerattu lämmitysenergiankulutus, $S_N \text{ vpkunta}$ on vertailupaikkakunnan normaalivuoden lämmitystarveluku $S_{tot. \text{ vpkunta}}$ on vertailupaikkakunnan toteutunut lämmitystarveluku $Q_{tot.}$ on toteutunut lämmitysenergiankulutus ja $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ on käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia. Normitetulla lämmitysenergiankulutuksella voidaan tarkastella käytöstä ja järjestelmistä riippuvaista lämmitysenergiankulutusta.

Normittamattoman lämmitysenergiankulutuksen vaihtelut voidaan lukea osaksi lämpötilavaihteluiden aiheuttamaksi. Toisaalta normitetut energiankulutukset noudattavat karkeasti samaa vaihtelua. Lämmityksen säätö vuonna 2009 näyttäisi nostavan lievästi lämmitysenergian kulutusta. Lämmityksen osalta energiavaihteluihin ei voida lähtötietojen

osalta löytää kunnollista selitystä. Vuoden 2009 vedensäästösuuttimien asentaminen hanoihin näyttää vähentäneen vedenkulutusta tasaisesti. Sähkönkulutuksessa nähdään myös selvä lasku vuoden 2012 tienoilla. Lähtötietojen osalta sähkönkulutuksen laskua ei voida enempää kommentoida.

6.4 Korjausvaihtoehdot

6.4.1 Minimikorjaus

Ensimmäiseksi määritettiin minimikorjaus perusteellisten kuntotutkimusten pohjalta. Minimikorjaus on mahdollisimman edullinen toimenpidepaketti, joka on juuri ja juuri riittävä todettujen vaurioiden korjaamiseksi.

Kohteen kuntotutkimusten perusteella minimikorjaus on:

- Päätyseinien ulkokuorien kiinnitys varmistetaan. Elementit verhoillaan, millä ehkäistään pakkasrapautumisen eteneminen. Verhouskorjaus toteutetaan mahdollisimman edullisesti
- Pitkiltä sivuilta paikataan vain välttämättömät vauriot piikkaamalla teräkset esiin ja piikkaamalla laastilla. Elementtisaumat uusitaan ja seinät huoltomaalataan.
- Ikkunat vaihdetaan mahdollisimman edullisiin vaihtoehtoihin. Korjausrakentamismääräykset vaativat ikkunalle U-arvoa $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakennusta voidaan kuitenkin tarkastella kokonaisuutena, jolloin voidaan soveltaa E-luku – ehtoa. Ikkunoiksi soveltuvat esimerkiksi $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ vaihtoehdot. Ulko-ovet eivät tarvitse toimenpiteitä.
- Yläpohjalle ei tehdä remonttia, mutta lisäeristäminen saattaa vaatia pieniä räystäsmautoksia.

Minimikorjauksen täyttävät toimenpiteet ovat:

- Päätyelementit: Varmistuspulttaus 1 /m^2 , 50 mm mineraalivillaeriste, ohutrapaus.
- Ruutuelementit: Huoltomaalaus sekä välttämätön laastipaikkaus (10 %). Elementtisaumat uusitaan.
- Ikkunat uusitaan $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ikkunoilla.
 - Toimenpiteiden seurauksena ilmanvuotoluku laskee arvoon $q_{50} = 5$.

Taulukko 4. *Vaihtoehto 1: Minimikorjaus*

Päätyelementit:	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ruutuelementit	Huoltomaalaus sekä välttämätön laasti- paikkaus (10 %). Elementtisaumat uusitaan.
Ikkunat	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet U = 1,3 W/m ² K
Ilmanvuotoluku	q ₅₀ = 5
Ostoenergiankulutus	163 kWh/m ² /a
*E-luku	177 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	26 %
Energiansäästö €	24 244 €
Investointikustannus	762 791 €

Vertaamalla lähtötilannetta ja minimikorjausta (Liite A ja Liite B) nähdään, että minimikorjaus parantaa rakennuksen energiatehokkuutta huomattavasti. Lämmitysenergian kulutus laskee jopa 26 % esitetyillä korjauksilla. Merkittävin lämpöhäviön lasku on ikkunoilla, joiden kulutus laskee arvosta 457 MWh/a noin arvoon 220 MWh/a eli yli 50 %. Myös päätyseinien lämpöhäviö laskee lähes puoleen, arvosta 70 MWh/a arvoon 40 MWh/a. Ikkunoiden uusiminen parantaa ikkunaliittymän ilmanpitävyyttä ja laskee ilmanvuotolukua. Ilmavuotojen arvo laskee arvosta 185 MWh/a arvoon 90 MWh/a eli noin 49 %. Muiden rakennusosien kohdalla ei tapahdu muutosta lämpöhäviöiden suhteen.

Minimikorjauksessa 30 vuoden tarkastelujaksolla pitkille sivuille joudutaan tekemään perusteellinen paikkauskorjaus tai verhoamiskorjaus arviolta 15 vuoden kuluttua ja vesikate tulee uusia noin 10 vuoden kuluttua.

6.4.2 Energiatehokkuustoimenpiteet

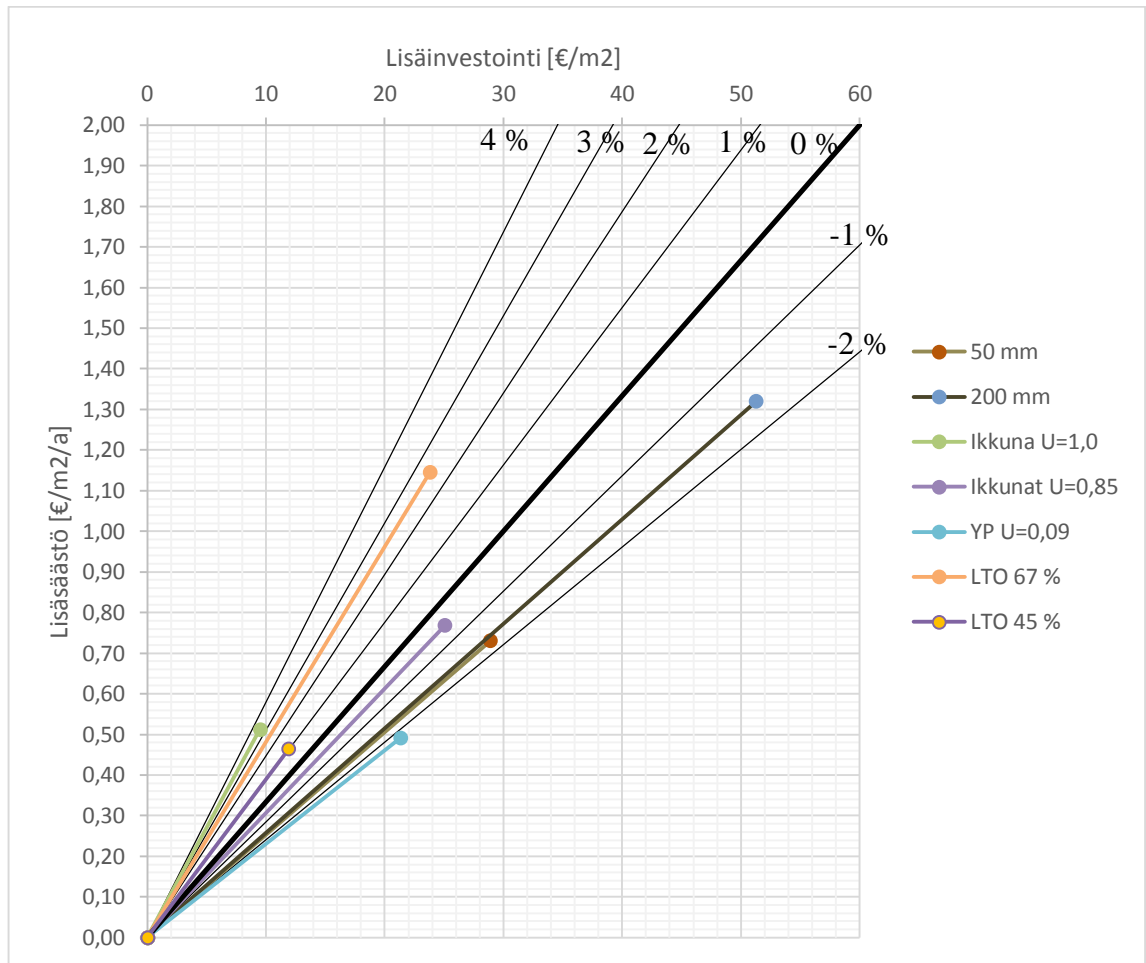
Energiatehokkaissa korjausratkaisuissa rakennusta korjataan tai uusitaan raskaammin, mitä minimitaso vaatisi. Näin ollen energiatehokkaat korjausratkaisut ovat minimikorjausta kalliimpia. Energiatehokkaan remontin kokonaiskustannusten ja minimiratkaisun kokonaiskustannusten erotusta kutsutaan lisäinvestoinniksi. Energiatehokkaan remontin energiakustannussäästön ja minimiratkaisun energiakustannussäästön erotusta kutsutaan

lisäsäästöksi. Lisäinvestoinnin ja lisäsäästön perusteella voidaan arvioida energiatehokkuustoimenpiteen kannattavuutta. Taloudellisen kannattavuuden tarkasteluun sopii hyvin edellä esitelty Heljon & Viholan (2012) sisäisen korkokannan tarkastelumalli.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin energiatehokkuustoimenpiteinä

- julkisivun lisäeristystä,
- yläpohjan lisäeristystä,
- ikkunoiden ja ovien vaihtamista energiatehokkaampiin sekä
- lämmöntalteenoton tehostamista.

Kuvassa 11 on esitetty seitsemän eri energiatehokkuustoimenpidettä, joita tarkasteltiin tutkimuksessa. Sisäisen korkokannan tarkastelu tehtiin määrittämällä energiatehokkaan korjaustoimenpiteen tuomat lisäkustannukset investointivaiheessa sekä vuosittaiset lisäenergiansäästöt minimikorjaukseen verrattuna. Lisäkustannukset ja lisäsäästöt jaettiin rakennuksen kerrosalalle, mikä mahdollisti useamman eri vaihtoehdon tarkastelun samassa kuvaajassa. Sisäisen korkokannan määrittämisessä laskentajaksona on käytetty 30 vuotta.



Kuva 11. Lisäinvestointien sisäinen korkokanta

Tarkastellut jakautuivat positiiviselle ja negatiiviselle puolelle sisäisen korkokannan 0 % suoraan kuvaajassa 11. Tehokkain lisäinvestointi kuvaajan mukaan on ikkunoiden uusiminen $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ikkunoilla. Investoinnin sisäinen korkokanta on hieman 3 % yläpuolella. Kuvaajan mukaan on kannattavampaa vaihtaa rakennukseen määräysten mukaiset ikkunat kuin erikoiset $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ikkunat.

Toiseksi tehokkain lisäinvestointi on LTO 67 %. Sen sisäinen korkokanta on 2,5 % tuntumassa. LTO 45 % lisäinvestointina pienempi ja sen sisäinen korkokanta on 1 % luokkaa.

30 vuoden laskenta-ajalla kannattamattomia lisäinvestointeja ovat ikkunoiden korvaaminen $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ vaihtoehtojilla, seinän lisäeristäminen sekä koko yläpohjan uusiminen. Energiatehokkaan ikkunan materiaalikustannus nousee liian suureksi verrattuna energiansäästöön. Seinän verhouskorjauksena käytettiin mineraalivillaeristystä sekä mahdollisimman edullista verhousvaihtoehtoa, tässä tapauksessa ohutrappausta. Seinän

verhoaminen on hyvin kallista ja siihen liittyy paljon työvaiheita, joilla ei ole mitään tekemistä energiatehokkuuden kanssa; esimerkiksi ikkunasmyygien rappaus ja räystäslinjojen muutokset. Tästä syystä sen kannattavuus on huono.

Yläpohjan uusiminen on kallista. Energiansäästö jää pieneksi, sillä rakennuksen muodon takia yläpohja-alaa on tilavuuteen nähden vähän. Vaikka yläpohjan lämmönläpäisykerrointa on mahdollista laskea arvosta $U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, energiansäästö ei riitä tekemään remontista kannattavaa.

6.4.3 Vaihtoehtoiset korjaukset

Edellä esitetyistä toimenpiteistä koottiin viisi minimikorjausta energiatehokkaampaa korjausvaihtoehtoa. Energiamallit vaihtoehtokorjauksista ovat liitteinä. Lähtötilanteen energiamalli on esitetty liitteessä A. Minimikorjaus on nimetty vaihtoehtojen tarkastelussa vaihtoehdoksi 1 ja se on esitetty liitteessä B. Vaihtoehto 2 on esitetty liitteessä C, vaihtoehto 3 liitteessä D, vaihtoehto 4 liitteessä E, vaihtoehto 5 liitteessä F ja vaihtoehto 6 liitteessä G.

Seuraavaksi esitellään lyhyesti vaihtoehtokorjaukset. Vaihtoehtokorjaukset on esitetty taulukoissa 5 – 9. Vaihtoehtokorjauksista esitellään korjaustoimenpiteet, energiankultustiedot, investointikustannukset ja energiansäästöt sekä lisäinvestoinnit ja –säästöt.

Taulukko 5. Vaihtoehto 2

Päätyelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ruutuelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ikkunat ja ovet	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet U = 1,0 W/m ² K
Ilmanvuotoluku	q ₅₀ = 4
Ilmanvaihdon LTO	30 %
Ostoenergiankulutus	143 kWh/m ² /a
*E-luku	163 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	35 %
Energiansäästö €	32 789 €
Investointikustannus	1 048 414 €
Lisäsäästö	8 545 €
Lisäinvestointi	285 623 €

Vaihtoehdossa 2 päätyseinien lisäksi pitkät sivut lisäeristetään. Lisäeristämiseen tarvittava materiaali ja kalusto ovat joka tapauksessa työmaalla. Verhoamalla myös pitkät sivut vältetään 15 vuoden päästä raskaalta laastipaikkaukselta. Ikkunoiden lisäksi myös ovet uusitaan ja molemmat uusitaan nykynormit täyttävillä U = 1,0 W/m²K vaihtoehdoilla. Laajemman verhoamisen sekä ovivaihdoilla ilmanvuotoluvun arvioidaan olevan q₅₀ = 4. Lämmöntalteenottoa ei muuteta tehokkaammaksi. Yläpohjaan ei tehdä korjaustoimenpiteitä, joten 10 vuoden päästä vesikatto joudutaan korjaamaan.

Taulukko 6. Vaihtoehto 3

Päätyelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ruutuelementit	Huoltomaalaus sekä välttämätön laasti- paikkaus (10 %). Elementtisaumat uusitaan.
Ikkunat ja ovet	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet U = 1,0 W/m ² K
Ilmanvuotoluku	q ₅₀ = 5
Ilmanvaihdon LTO	45 %
Ostoenergiankulutus	147 kWh/m ² /a
E-luku_{suuntaa-antava}	166 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	33 %
Energiansäästö €	31 025 €
Investointikustannus	913 329 €
Lisäsäästö	6 781 €
Lisäinvestointi	150 538 €

Vaihtoehto 3 on parannettu minimikorjaus, jossa ikkunat ja ovet uusitaan U = 1,0 W/m²K vaihtoehdolla sekä ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenottoa parannetaan. LTO:n arvioidaan olevan parannuksen jälkeen 45 %. Ilmanvuotoluku ei mainituilla toimenpiteillä parane minimikorjauksesta. Lisäinvestointikustannus on verrattain pieni, mutta myös lisäsäästö on vaatimattomampi. 30 vuoden tarkastelujaksolla rakennuksen pitkät sivut joudutaan remontoimaan perusteellisesti 15 vuoden kuluttua ja vesikatto uusimaan 10 vuoden kuluttua.

Taulukko 7. Vaihtoehto 4

Päätyelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ruutuelementit	Huoltomaalaus sekä välttämätön laasti- paikkaus (10 %). Elementtisaumat uusitaan.
Ikkunat ja ovet	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet U = 1,0 W/m ² K
Yläpohja	Purku ja uusiminen. U = 0,09 W/m ² K
Ilmanvuotoluku	q ₅₀ = 4
Ilmanvaihdon LTO	67 %
Ostoenergiankulutus	129 kWh/m ² /a
E-luku _{suuntaa-antava}	154 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	41 %
Energiansäästö €	38 817 €
Investointikustannus	1 111 684 €
Lisäsäästö	14 573 €
Lisäinvestointi	348 894 €

Vaihtoehto 4 on parannettu vaihtoehto 3. Rakennuksen julkisivut korjataan minimikorjauksen mukaisesti, mutta ikkunat ja ovet, lämmöntalteenotto sekä yläpohja uusitaan. Ikkunoihin ja oviin vaihdetaan U = 1,0 W/m²K vaihtoehdot. Lisäksi yläpohjan vanha rakenne puretaan ja yläpohjan rakennetta korotetaan. Korotettuun eristetilaan saadaan enemmän eristettä, jolloin U-arvoksi saadaan 0,09 W/m²K. Yläpohjarakenteen uusimisen johdosta ilmanvuotoluvun arvioidaan olevan q₅₀ = 4. Lämmöntalteenottojärjestelmä uusitaan siten, että hyötysuhde on 67 %. Laajempi ilmanvaihtojärjestelmän remontointi on mahdollista, kun yläpohja avataan. Koska rakennuksen pitkät sivut huoltomaalataan, tässä on arvioitu, että ne joudutaan remontoimaan perusteellisesti 15 vuoden kuluttua.

Taulukko 8. Vaihtoehto 5

Päätyelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ruutuelementit	Varmistuspulttaus 1 /m ² 50 mm mineraalivillaeriste Ohutrappaus
Ikkunat ja ovet	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet U = 1,0 W/m ² K
Yläpohja	
Ilmanvuotoluku	q ₅₀ = 3
Ilmanvaihdon LTO	67 %
Ostoenergiankulutus	118 kWh/m ² /a
E-luku _{suuntaa-antava}	146 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	46 %
Energiansäästö €	43 668 €
Investointikustannus	1 300 330 €
Lisäsäästö	19 425 €
Lisäinvestointi	537 540 €

Vaihtoehto 5 muistuttaa vaihtoehtoa 2 mutta on järeämpi. Päätyelementtien lisäksi pitkät sivut verhoillaan ja ikkunoihin ja oviin vaihdetaan U-arvoltaan 1,0 W/m²K vaihtoehdot, kuten vaihtoehdossa 2. Tämän lisäksi yläpohja uusitaan ja lämmöntalteenoton hyötysuhdetta parannetaan 67 %:iin. Pääty- ja sivuseinien verhous, ikkunakorjaus sekä yläpohjan uusiminen pienentävät ilmanvuotoluvun oletettavasti arvoon q₅₀ = 3. Tässä on oletettu, että 30 vuoden tarkastelujaksolla uusinta- tai korjaustoimenpiteitä ei tarvitse tehdä.

Taulukko 9. Vaihtoehto 6

Päätyelementit	Ulkokuori puretaan Uritettu mineraalivilla 250 mm Kuorielementti, valkobetoni Elementtisauma
Ruutuelementit	Ulkokuori puretaan Uritettu mineraalivilla 250 mm Kuorielementti, valkobetoni Elementtisauma
Ikkunat ja ovet	Puretaan vanhat ja asennetaan uudet $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Yläpohja	Puretaan ja uusitaan $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ilmanvuotoluku	$q_{50} = 1$
Ilmanvaihdon LTO	67 %
Ostoenergiankulutus	118 kWh/m ² /a
E-luku_{suuntaa-antava}	146 kWh/ m ² /a
Energiansäästö %	46 %
Energiansäästö €	52 521 €
Investointikustannus	1 577 991 €
Lisäsäästö	28 277 €
Lisäinvestointi	815 201 €

Vaihtoehdossa 6 rakennuksen ulkokuori, ikkunat ja ovet sekä yläpohja puretaan ja uusitaan. Rakennusosat uusitaan nykyisten vaatimusten mukaisesti. Uusinta- tai korjaustöiden piteitä ei tarvitse tehdä 30 vuoden laskentajaksolla. Vaihtoehtoon energiansäästö on kaikista suurin mutta myös investointikustannus on suurin.

7. TULOKSET

7.1 Investoinnin kannattavuus

Korjausvaihtoehtojen kannattavuutta on tarkasteltu elinkaarimallilla. Elinkaarimallissa simuloidaan laskentajakson aikana rakennukseen tehtävät remontit ja muutokset, joiden voidaan ajatella vaikuttavan eri korjausvaihtoehtojen kannattavuuteen. Tässä ei ole käsitelty sellaisia remontteja tai ylläpitotoimenpiteitä, joita rakennukseen todennäköisesti tehdään joka tapauksessa eri korjausvaihtoehtoista riippumatta. Tällaisia ovat esimerkiksi sisäpuoliset perusparannukset ja huollot ja puhdistukset.

Laskennassa on käytetty laskentakorkokantana 4 %. Tämä on oletettu kohteen kiinteistönomistajan tuottoastevaatimus liiketoiminnassaan. Tuottoastevaatimus sisältää pankin marginaalin 1 % ja kiinteistönomistajan oman preemion 3 %. Laskentakorkokanta on reaalinen. Myös käytetyt kustannukset ovat reaalisia eli elinkaaren aikana tapahtuvaa hinnannousua ei ole huomioitu.

Seuraavassa taulukossa on laskettu kaikkien tarkasteltujen vaihtoehtojen korjaushankkeiden kokonaiskannattavuus. Minimikorjaus on vaihtoehto 1 ja muut vaihtoehdot vastaavat nimikoinnillaan kappaleen 6 vaihtoehtoja.

Taulukko 10. Korjausvaihtoehtojen taloudellinen kannattavuus investointina

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	762 790,54 €	1 048 413,83 €	913 328,86 €	1 111 684,18 €	1 300 330,24 €	1 577 991,49 €
Energiasäästöt	24 243,66 €	32 789,12 €	31 024,54 €	38 816,62 €	43 668,42 €	52 520,56 €
Energiasäästöt %	26 %	35 %	33 %	41 %	46 %	56 %
Sisäinen korkokanta	-3,03 %	-0,66 %	-2,05 %	-1,20 %	0,05 %	-0,01 %
Nettonykyarvo	-489 756,71 €	-488 832,44 €	-521 759,66 €	-557 001,97 €	-524 244,72 €	-644 042,43 €

Rakennuksen korjaaminen taloudellisen tuoton saamiseksi ei tässä tapauksessa ole perusteltua. Taulukossa korjaushankkeita on käsitelty investointeina, joiden ainoa tarkoitus on tuottaa sijoittajalle voittoa. 30 vuoden laskenta-ajalla ainoastaan vaihtoehto 5 saa niukasti positiivisen sisäisen korkokannan arvon.

Seuraavassa taulukossa on esitetty pelkästään lisäinvestointien kannattavuus. Kappaleessa 6 esitettyjä korjausvaihtoehtoja on verrattu minimikorjaukseen. Vaihtoehtojen li-

säinvestoinneista ja lisäenergiansäästöistä on laskettu kannattavuus. Laskentakorkokantana on edelleen käytetty 4 %. Koska lisäinvestoinnin kannattavuus on tutkimuksen varsinainen tutkimusongelma, tarkastellaan kannattavuutta myös 1 % ja 7 % korokannoilla.

1 % laskentakorkokanta edustaa pääoman minimituottoastetta, kuten luvussa 5.1.1 asiaa käsiteltiin. Tuottoasteen minimivaatimuksen muodostaa tässä pankin marginaali, joka on 1 %. Vähintään tämän verran hankkeen on tuotettava, että kiinteistönomistaja selviää lainanhoitokuluista.

7 % laskentakorkokanta edustaa sijoittajan pääoman tuottoastevaatimusta. Pääomasijoittaja voisi olla henkilö, joka omistaa kiinteistöstä osakkeita, muttei hallinnoi päätoimisesti kiinteistöä. Sijoitukseen liittyy riskejä ja sijoittaja haluaa riittävän tuottoasteen. Sijoittajan tuottoastevaatimus 7 % on valittu luvun 5.1.1 perusteella.

Taulukko 11. Lisäinvestointien taloudellinen kannattavuus, tuottovaatimus 1 %, 4 % ja 7 %.

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	285 623,30 €	150 538,32 €	348 893,64 €	537 539,70 €	815 200,95 €
Energiasäästöt	- €	8 545,46 €	6 780,88 €	14 572,96 €	19 424,76 €	28 276,90 €
Sisäinen korkokanta	-	4,03 %	2,06 %	2,22 %	3,46 %	2,32 %
Nettonykyarvo (1 %)	0,00 €	148 765,20 €	24 218,53 €	62 704,93 €	213 106,05 €	164 385,64 €
Nettonykyarvo (4 %)	0,00 €	924,27 €	-32 002,96 €	-67 245,26 €	-34 488,01 €	-154 285,72 €
Nettonykyarvo (7%)	0,00 €	-83 150,29 €	-62 050,53 €	-138 101,34 €	-173 454,96 €	-330 291,03 €

Taulukossa 11 vaihtoehdon 1 eli minimikorjauksen sarake on tyhjä, sillä kaikkia vaihtoehtoja verrataan minimikorjaukseen.

Kaikki viisi lisäinvestointia saavat kannattavuustarkastelussapositiivisen sisäisen korkokannan arvon. Tämä tarkoittaa, että 30 vuoden laskentajaksolla jokainen lisäinvestointi tuottaa edes jotakin. Vaihtoehto 2 on sisäiseltä korkokannaltaan suurin arvolla 4,03 %. Vaihtoehdot 3, 4 ja 6 ovat sisäiseltä korkokannaltaan 2 - 2,5 % tuntumassa. Vaihtoehto 5 on sisäiseltä korkokannaltaan 3,46 % ja tarkastelluista vaihtoehdoista toiseksi kannattavin. Vaihtoehdossa 2 on parannettu minimikorjaukseen nähden ikkunoiden lämmönläpäisykerroin arvoon $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja pitkät sivut on lisäeristetty ja rapattu. Vaihtoehdossa 5 on näiden lisäksi tehty lämmöntalteenotto-remontti ja yläpohjan uusiminen.

Nettonykyarvoa on tarkasteltu kolmella eri laskentakorkokannalla: 1 %, 4 % ja 7 %. Kun laskentakorkokantana käytetään oletettua pankin marginaalia 1 %, kaikki investoinnit ovat kannattavia. Kannattavin lisäinvestointi on korjausvaihtoehto 5, toiseksi kannattavin 6 ja vasta kolmanneksi kannattavin on vaihtoehto 2. Kun laskentakorkokantana käytetään

1 %, ei huomioida hankkeeseen liittyviä riskejä tai muita mahdollisia pääoman sijoituskohteita.

Kun laskentakorkokantana on käytetty 4 %, vain vaihtoehto 2 on niukasti positiivinen. Vaihtoehtojen 2 nettonykyarvo on 924,27 €. Laskentakorolla 4 % tarkastelluista lisäinvestoinneista vaihtoehto 2 vaikuttaa olevan kannattavin.

Mikään lisäinvestointi ei ole nettonykyarvolla mitattuna kannattava, kun laskentakorkokantana käytetään 7 %. Sijoittajan näkökulmasta tässä tarkastellut energiatehokkuustoimenpiteet eivät vaikuta olevan kannattavia.

On huomionarvoista, että yksittäisten toimenpiteiden kuvaajan (Kuva 11) mukaan energiatehokkuustoimenpiteiden sisäiset korkokannat jakautuvat 3,5 % ja – 2 % väliin. Kaikkien toimenpiteistä koottujen korjausvaihtoehtojen sisäinen korkokanta on kuitenkin yli 2 %. Syynä tähän on korjausvaihtoehtojen erilaisissa elinkaarissa. Minimikorjauksen tapauksessa vesikate täytyy uusida kymmenen vuoden kuluttua. Niissä korjausvaihtoehtojen, joissa yläpohja uusitaan elinkaaren alussa, tätä lisäkustannusta ei elinkaaren varrella tule. Minimikorjauksessa tulee 15 vuoden kuluttua ajankohtaiseksi pitkien sivujen perusteellinen laastipaikkauskorjaus, jossa betoniteräksiset hiekkapuhalletaan näkyviin ja suojataan. Niiden vaihtoehtojen elinkaarilla, joissa pitkien sivujen elementit verhouskorjataan elinkaaren alussa, ei ole laastipaikkauksen lisäkustannusta ei tule elinkaaren varrella.

Elinkaaren vaikutuksien havainnollistamiseksi kannattavuutta on tarkasteltu annuiteettimenetelmällä. Kuvaajat on esitetty liitteessä H. Annuiteettimenetelmän laskelmat on suoritettu laskentakorkokannoilla 1 % ja 4 %. Tuottoastevaatimusta 7 % ei ole tarkasteltu. Edellä on todettu, etteivät 7 % tuottoastevaatimuksella lisäinvestoinnit ole kannattavia, ja on selvää, ettei annuiteettitarkastelu muuta asiaa.

Annuiteettimenetelmällä saadaan hieman erilaiset numeroarvot kannattavuudelle, mutta vaihtoehdot asettuvat samaan järjestykseen ja karkeasti samalle etäisyydelle toisistaan kuin sisäisen korkokannan ja nettonykyarvon mukaan laskettuna.

Annuiteettimenetelmällä tarkastellut elinkaarilaskelmat (Liite H) osoittavat, että kaikkien korjausvaihtoehtojen vuosittainen tuotto on negatiivinen laskentakorkokannalla 4 %. Vuosien 10 ja 15 kohdalla nähdään kuvaajissa selvä nousu korjausvaihtoehtojen 2, 4, 5 ja 6 käyrillä. Nousut johtuvat minimivaihtoehtojen elinkaarella tapahtuvista merkittävistä lisäkorjauskustannuksista.

7.2 Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelussa on analysoitu rakennuskustannusten ja energiansäästöjen vaikutusta lisäinvestointien kannattavuuteen. Rakennuskustannusten ja energiansäästöjä ei ole tarkasteltu tarkemmin komponentti kerrallaan. Energiansäästöön vaikuttavien komponenttien painoarvo on nähtävissä energiakulutusmallista. Todelliset rakennuskustannukset poikkeavat tarkastelluista ja lopullisten kustannusten painoarvoa ja komponenttien muutosten vaikutusta on mahdotonta arvioida. Näin ollen on päädytty tarkastelemaan rakennuskustannusten ja energiansäästöjen kokonaismuutosten vaikutusta.

Rakennuskustannukset 10 % odotettua suuremmat

Rakennuskustannusten nousu heikentää lisäinvestointien kannattavuutta. Kustannustason 10 % nousu on kuvattu alla olevassa taulukossa.

Taulukko 12. Lisäinvestointien kannattavuus, rakennuskustannusten nousu 10%.

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	314 185,63 €	165 592,16 €	383 783,01 €	591 293,67 €	896 721,04 €
Energiasäästöt	- €	8 545,46 €	6 780,88 €	14 572,96 €	19 424,76 €	28 276,90 €
Sisäinen korkokanta	0,00 %	3,31 %	1,38 %	1,51 %	2,74 %	1,63 %
Nettonykyarvo	0,00 €	-26 539,51 €	-46 477,79 €	-100 792,73 €	-86 174,52 €	-232 670,43 €
SKK muutos-%	0 %	-18 %	-33 %	-32 %	-21 %	-30 %
NNA muutos, €	-	-27 463,78 €	-14 474,83 €	-33 547,47 €	-51 686,51 €	-78 384,71 €

Taulukossa investointikustannukset ovat nousseet taulukon 11 tarkastelusta. Taulukon kaksi alinta riviä kertovat kannattavuuden muutoksesta. Tässä tarkastelussa yksikään korjausvaihtoehto ei ole nettonykyarvoltaan kannattava.

Rakennuskustannukset 10 % odotettua pienemmät

Taulukossa 13 on esitetty rakennuskustannusten laskun vaikutus kannattavuuteen.

Taulukko 13. *Lisäinvestointien kannattavuus, kustannusten lasku 10 %.*

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	257 060,97 €	135 484,49 €	314 004,28 €	483 785,73 €	733 680,85 €
Energiasäästöt	- €	8 545,46 €	6 780,88 €	14 572,96 €	19 424,76 €	28 276,90 €
Sisäinen korkokanta	0,00 %	4,83 %	2,85 %	3,03 %	4,29 %	3,11 %
Nettonykyarvo	0,00 €	28 388,04 €	-17 528,12 €	-33 697,79 €	17 198,50 €	-75 901,02 €
SKK muutos-%	0 %	+20 %	+38 %	+37 %	+24 %	+34 %
NNA muutos, €	-	+27 463,77 €	+14 474,84 €	+33 547,47 €	+51 686,51 €	+78 384,70 €

Rakennuskustannusten lasku vaikuttaa sisäisiin korkokantoihin nostavasti. Vaikutus on 20 %:sta 38 %:iin. Nettonykyarvon perusteella rakennuskustannusten laskiessa 10 % vaihtoehdot 2 ja 5 ovat kannattavia.

10 % muutos rakennuskustannuksissa aiheuttaa 18 % - 38 % suhteellisen muutoksen vaihtoehtoisten korjaustoimenpiteiden kannattavuudessa sisäisen korkokannan mukaan.

Energian säästö 10 % arvioitua pienempi

Taulukossa 14 on esitetty tilanne, jossa energiansäästöjä saadaan syystä tai toisesta 10 % arvioitua vähemmän.

Taulukko 14. *Energiansäästöt 10 % arvioituja pienemmät.*

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	285 623,30 €	150 538,32 €	348 893,64 €	537 539,70 €	815 200,95 €
Energiasäästöt	- €	7 690,92 €	6 102,79 €	13 115,66 €	17 482,28 €	25 449,21 €
Sisäinen korkokanta	0,00 %	3,63 %	1,31 %	1,51 %	2,93 %	1,76 %
Nettonykyarvo	0,00 €	-13 284,23 €	-43 277,50 €	-91 475,65 €	-66 785,46 €	-201 301,60 €
SKK muutos-%	0 %	-10 %	-36 %	-32 %	-15 %	-24 %
NNA muutos, €	-	-14 208,50 €	-11 274,54 €	-24 230,39 €	-32 297,45 €	-47 015,88 €

Energiansäästöjen muutoksen vaikutukset ovat vähäisempiä, mitä rakennuskustannusten nousulla. Tässä tapauksessa kaikki investoinnit tuottavat negatiivisen nettonykyarvon 4 % laskentakorkokannalla.

Energian säästö 10 % arvioitua suurempi

Taulukossa 15 on esitetty tilanne, jossa energiansäästöjä saadaan 10 % oletettua enemmän.

Taulukko 15. *Energiansäästöt 10 % arvioituja suuremmat.*

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	285 623,30 €	150 538,32 €	348 893,64 €	537 539,70 €	815 200,95 €
Energiasäästöt	- €	9 400,01 €	7 458,97 €	16 030,25 €	21 367,23 €	31 104,59 €
Sisäinen korkokanta	0,00 %	4,41 %	2,78 %	2,89 %	3,97 %	2,86 %
Nettonykyarvo	0,00 €	15 132,77 €	-20 728,41 €	-43 014,87 €	-2 190,55 €	-107 269,85 €
SKK muutos-%	0 %	+9 %	+35 %	+30 %	+15 %	+23 %
NNA muutos, €	-	+14 208,50 €	+11 274,55 €	+24 230,39 €	+32 297,46 €	+47 015,87 €

Vaikka energiansäästöjä saataisiin arvioitua enemmän, vain vaihtoehto 2 saa positiivisen nettonykyarvon laskentakorkokannan ollessa 4 %.

Energiansäästöjen 10 % muutos aiheuttaa 9 % - 36 % suhteellisen muutoksen kannattavuudessa sisäisen korkokannan mukaan.

Energiakustannusten nousu 2 % vuodessa

Taulukossa 16 on tarkasteltu tilannetta, jossa energian hinta nousee vuosittain 2 % muuta kustannuskehitystä nopeammin. Tämä vaikuttaa energiatehokkuustoimenpiteistä saataviin säästöihin siten, että säästöt ovat suuremmat. Säästöt ovat suuremmat sekä minimivaihtoehdossa, että lisäinvestoinnissa.

Taulukko 16. *Energian hinta nousee 2 % muuta kustannuskehitystä voimakkaammin.*

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3	Vaihtoehto 4	Vaihtoehto 5	Vaihtoehto 6
Laskentakorkokanta	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Laskenta-aika	30	30	30	30	30	30
Investointikustannukset	- €	285 623,30 €	150 538,32 €	348 893,64 €	537 539,70 €	815 200,95 €
Energiasäästöt	- €	8 545,46 €	6 780,88 €	14 572,96 €	19 424,76 €	28 276,90 €
Sisäinen korkokanta	0,00 %	5,09 %	4,11 %	4,12 %	4,86 %	3,88 %
Nettonykyarvo	0,00 €	43 862,42 €	2 068,77 €	5 376,41 €	62 437,04 €	-13 018,96 €
SKK muutos-%	0 %	26 %	99 %	86 %	40 %	67 %
NNA muutos-%	-	42 938,15 €	34 071,73 €	72 621,67 €	96 925,05 €	141 266,76 €

Nyt kaikkien toimenpiteiden sisäinen korkokanta on kohonnut merkittävästi. Myös nettonykyarvot ovat nousseet merkittävästi. Vain vaihtoehdon 6 nettonykyarvo on enää negatiivinen. Vaihtoehto 2 on edelleen sisäisen korkokannan mukaan kannattavin investointi, mutta nyt vaihtoehto 5 on nettonykyarvon mukaan laskettuna kannattavin.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimuksessa tarkasteltiin korjausrakentamisen yhteydessä toteutettavien energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuutta kiinteistönomistajan kannalta. Tutkimuksessa pyrittiin myös selvittämään, vaativatko nykyiset korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset rakennushankkeeseen ryhtyvältä toimenpiteitä, jotka ovat taloudellisesta näkökulmasta kannattavuudeltaan heikompia.

Tutkimuksessa selvitettiin olemassa olevan 1960 – 1980 – luvuilla rakennetun asuinkerrostalokannan energiansäästöpotentiaaleja sekä erilaisia kiinteistön korjaustoimenpiteitä ja niiden kustannuksia. Korjausmahdollisuuksia sovellettiin tapaustutkimuksessa todelliseen kohteeseen. Kohteesta laadittiin energiankulutusmalli sekä minimikorjauksen toimenpidepaketti. Minimikorjauksen perusteella laadittiin uusi energiakulutusmalli, ja vertaamalla minimikorjausta ja lähtötilannetta saatiin selville minimikorjauksen energiansäästö. Minimikorjauksen lisäksi laadittiin viisi energiatehokkaampaa korjausvaihtoehtoa, joiden energiansäästöjä verrattiin minimikorjaukseen. Lopulta päästiin arvioimaan vaihtoehtoisten korjausten lisäinvestointien ja lisäsäästöjen kannattavuutta.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen korjaustoimenpiteillä pelkän taloudellisen tuoton takia ei ole tässä tapauksessa kannattavaa. Suuret korjauskustannukset ja verrattain pienet energiansäästöt indikoivat, että energiakorjaushanke pelkästään taloudellista tuottoa tavoittelevana investointina ei ole yleisesti ottaen kannattava sellaisenaan.

Sen sijaan lisäinvestointi joka tapauksessa toteutettavaan minimikorjaukseen voi olla kannattava. Taulukon 11 perusteella yksi lisäinvestointi oli valitulla tuottoastevaatimuksella kannattava: Vaihtoehto 2. Sen tuottoaste on 4,03 %, mikä on hieman 4 % tuottoastetta parempi. Vaihtoehdon 2 nettonykyarvo on 942,27 €. Kun tuottoastevaatimuksena oli 1 %, mikä tutkimuksessa oletettiin pankin marginaaliksi, kaikki tutkitut lisäinvestoinnit olivat kannattavia. Kun tuottovaatimuksena oli 7 %, mikään lisäinvestointi ei ollut kannattava.

Kannattavuustarkasteluissa päädytään usein tilanteeseen, jossa yhdellä vaihtoehdolla on parempi sisäinen korkokanta ja toisella parempi nettonykyarvo. Päätöksentekijä joutuu pohtimaan, haluaako hän ensisijaisesti euroja vai prosentteja. Suurempi nettonykyarvo tuottaa suuremman kassavirran. Suurempi korkokanta taas tuottaa investointiin nähden paremman kassavirran. Tässä tutkimuksessa on painotettu sisäistä korkokantaa, sillä oletettavasti kiinteistönomistaja voisi toteuttaa vastaavan lisäinvestoinnin jossakin muussa kohteessa.

Herkkyystarkastelussa arvioitiin rakennuskustannuksiin ja energiansäästöihin liittyvän epävarmuuden vaikutusta kannattavuuteen. Tarkastelun perusteella molempien suhteellinen vaikutus on suuri. Keskimäärin rakennuskustannuksilla on hieman suurempi suhteellinen vaikutus kannattavuuteen kuin energiansäästöillä. Energian hinnan vuotuisella nousulla sen sijaan oli merkittävä nostava vaikutus hankkeiden kannattavuuteen.

Kaikki korjausvaihtoehdot minimikorjaus mukaan lukien ovat korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräysten mukaisia. Kaikkien korjausvaihtoehtojen E-luku alitti korjausrakentamisen määräysten asettaman minimiarvon 184 kWh/m²/a. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että viranomaisen korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset eivät välttämättä vaadi rakennushankkeeseen ryhtyvältä kohtuuttoman järeitä korjauksia. Minimikorjaus täyttää rakentamismääräysten vaatimukset ja kannattava lisäinvestointi on löydettävissä. Tässä tapauksessa pelkällä ikkunakorjauksella saavutettiin merkittävä energiansäästö. Jos lähtötilanteessa kohderakennus on jo verrattain energiatehokas, energiansäästöjen saavuttaminen voi olla hankalampaa.

Pohdinnat

Energiaremontin laskennalliseen kannattavuuteen vaikuttavat alussa tehtävät oletukset lähtötilanteesta, korjauskustannusarviot sekä energiansäästöjen arviot. Epäedullisilla muutoksilla lähtötilanteeseen kannattavuus painuu herkästi negatiiviseksi. Korjauksen toteutuksen jälkeinen tuotto sisältää riskejä ja mahdollisuuksia, jotka eivät ole kiinteistön omistajan hallittavissa, kuten toteutuvat energiansäästöt, energian hinnan muutokset, rakenteiden arvioitua nopeampi kuluminen ja vaurioituminen. Hankkeeseen liittyvät riskit sekä lisäinvestoinnin epälikvidi luonne aiheuttavat painetta nostaa riskipreemiota ja tuotovaatimusta.

Tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, jossa lisäinvestointi on kannattava tuottoastevaatimuksella 4 %. Lisäinvestoinnin kannattavuus johtui vain osittain energiansäästöistä. Pääosin säästö johtui siitä, että valittu korjausratkaisu ehkäisi rakennuksen elinkaaren aikana muuten realisoituvia korjaustarpeita. Tutkimuksen perusteella voidaan ajatella, että energiatehokkuusratkaisuja oleellisempaa on suunnitelmallinen kiinteistönpito, jossa eri toimenpidevaihtoehtoja tarkastellaan riittävän pitkällä elinkaarella. Kannattavuus perustuu siihen, että vältetään uusintakorjauksia.

Tapaustutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että toistaiseksi energian hinta on niin pieni, ettei se juurikaan kannusta energiakorjauksiin. Mikäli energian hinta nousee muuta kustannuskehitystä nopeammin, energiakorjauksen kannattavuus paranee. Energiakorjaushankkeiden kannattavuutta parantaisi myös julkinen investointituki, joka tällä hetkellä puuttuu.

Tulosten luotettavuus

Tulosten luotettavuuteen vaikuttavat kustannustieto, energiamallit sekä elinkaarilaskennan tarkkuus. Yleispätevää kustannustietoa on haasteellista hankkia. Todellinen kustannustaso riippuu paikkakunnasta, talouden suhdanteista sekä kohteen ominaisuuksista. Lopullinen kustannustaso selviää vasta urakkatarjouksia kysymällä. Kustannustieto on sekä konsulttien että urakoitsijoiden aineetonta pääomaa ja alalla usein kilpailuvaltti. Luotettavaa ja tarkkaa tietoa on mahdollista saada kohteeseen, mutta ei yleensä ilmaiseksi. Tähän tutkimukseen kustannustieto hankittiin kirjallisesta materiaalista ja kustannustietoa tarkennettiin muun muassa urakoitsijoiden näkemyksillä. Kustannuksiin liittyvä epätarkkuus voi muokata kannattavuustarkastelun tuloksia. Vaihtoehtojen välistä suuruusluokkaa voitaneen pitää kutakuinkin oikeana.

Rakennuksen lähtötilanteen sekä eri korjausvaihtoehtojen energiamalliin liittyy laskennallista epätarkkuutta. Todellisuudessa asukkaiden käyttäytyminen, kuten ikkunoiden kautta tuulettaminen, on vaikeasti arvioitava muuttuja ja laskennalliset tulokset saattavat poiketa todellisesta tilanteesta. Energiamalli sisältää joukon oletuksia, jotka voivat olla osin virheellisiä. Virheelliset oletukset vääristävät laskelmia. Lähtötietoja tarkentamalla ja simuloivalla laskentaohjelmalla saadaan tarkempia arvioita eri vuorokauden ja vuoden-aikojen vaikutuksista ja edelleen energiankulutuksesta.

Elinkaarilaskenta on tässä toteutettu hyvin yksinkertaisesti. Tässä ei ole huomioitu eri korjausvaihtoehtoihin liittyviä kunnossapitotoimenpiteitä, jotka saattavat olla erilaisia eri vaihtoehtoilta. Elinkaarilaskentaan liittyy joka tapauksessa epävarmuutta, sillä rakennusosia voidaan joutua korjaamaan odottamattomasti. Tällaisten korjausten realisoituessa kustannussäästöt saattavat jäädä saamatta ja kokonaisuuden kannattavuus heikkenee.

Elinkaarilaskennan epäluotettavuutta lisää sen pitkä aika. Laskenta-ajan kasvaessa myös tulevaisuuden ennustettavuus heikkenee. 30 vuoden laskenta-ajan elinkaarilaskennan tulosten luotettavuutta on hyvin vaikea arvioida.

Tarkastelu hankkeen kokonaiskannattavuudesta, jossa koko hankkeen kustannuksia verrattiin energiansäästöihin, ei ole välttämättä kovinkaan tarkoituksenmukainen. Tässä ei tarkasteltu korjaushankkeen kannattavuutta vuokratuottojen ja jäännösarvon näkökulmasta, jotka vaikuttavat merkittävästi koko hankkeen kannattavuuteen.

Jatkotutkimukset

Tässä tutkimuksessa ei pureuduttu korjaamisen vaikutuksiin kiinteistönomistajan liiketoiminnassa. Energiankulutus on noin 20 % kiinteistönhoitokuluista ja näin ollen vuokratuloista. Lisäksi remontoidusta kiinteistöstä voidaan periä suurempaa vuokraa. Liiketoiminnan muut hyödyt kasvattavat korjaamisen tuottoja ja saattavat parantaa kannattavuutta.

Remontti vaikuttaa myös kiinteistön markkina-arvoon. Energiatehokas remontti saattaa nostaa kiinteistön markkina-arvoa tavanomaisempaan perusparannukseen verrattuna. Markkina-arvon kehitys vaikuttaa laskennassa jäännösarvoon, jolla on vaikutusta elinkaarilaskentaan ja kannattavuuteen.

Jatkotutkimus, jossa tarkasteltaisiin laajemmalla ja tarkemmalla kustannustiedolla useampia kohteita kiinteistön omistajan liiketoiminnan näkökulmasta, olisi tarpeellinen. Näin saataisiin tätä tutkimusta parempi käsitys energiatehokkuustoimenpiteiden todellisesta toteutuspotentiaalista.

LÄHTEET

- [1] Alhola, K. & Lauslahti, S. (2006). *Laskentatoimi ja kannattavuuden hallinta*, WSOY, Porvoo.
- [2] ARA. (2013) *Avustukset*, ARA – Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.10.2015): <http://www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset>
- [3] Betoniteollisuus ry (2010). *Julkisivuelementtien suunnittelu*, Julkisivut, Elementtisuunnittelu.fi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 8.8.2015): <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/julkisivuelementtien-suunnittelu>
- [4] Energiateollisuus. (2015a) *Kaukolämmön hinta*, Energiateollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.8.2015): <http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>
- [5] Energiateollisuus. (2015b) *Kaukolämmitys*, Energiateollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.9.2015): <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys>
- [6] Euroopan unioni *EU-direktiivi 2010/31/EU, 19.5.2010*, Euroopan unionin virallinen lehti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.6.2015): <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>.
- [7] Finanssivalvonta (2011). *Riski on osakkeiden tuoton kääntöpuoli*, Artikkelit, Finanssivalvonta, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.10.2015): http://www.finanssivalvonta.fi/fi/Finanssiasiakas/Artikkelit/Pages/05_2011.aspx
- [8] Haukijärvi, M. (2005a). *Betonijulkisivut: Pinnoitus- ja paikkauskojraukset - yleiskuvaus*, Korjaustapakuvaukset, JUKO-ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, Julkisivuyhdistys r.y., verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.5.2015): http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/JUKO_pdf_web/Korjaustavat/Betonijulkisivut/Betonijulkisivut_korjaustavat_pinnoitus_paikkaus.pdf.
- [9] Haukijärvi, M. (2005b). *Betonijulkisivut: Verhouskorjaukset - yleiskuvaus*, Korjaustapakuvaukset, JUKO-ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, Julkisivuyhdistys r.y., verkkosivu. Saatavissa (viitattu 26.5.2015): http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/JUKO_pdf_web/Korjaustavat/Betonijulkisivut/Betonijulkisivut_korjaustavat_verhouskorjaukset.pdf.
- [10] Haukijärvi, M. (2005c). *Betonijulkisivut: Purkaminen ja uudelleenverhous - yleiskuvaus*, Korjaustapakuvaukset, JUKO-ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, Julkisivuyhdistys r.y., verkkosivu. Saatavissa (viitattu

26.5.2015): http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/JUKO_pdf_web/Korjaustavat/Betonijulkisivut/Betonijulkisivut_korjaustavat_uusiminen.pdf.

- [11] Heljo, J. & Vihola, J. (2012). *Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa*, Raportti 8, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Tampere.
- [12] Holopainen, R., Hekkanen, M., Hemmilä, K. & Norvasuo, M. (2007). *Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentialit*, VTT Tiedotteita 2377, Espoo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.9.2015): <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2377.pdf>
- [13] Högberg, L., Lind, H. & Grange, K. (2009). Incentives for Improving Energy Efficiency When Renovating Large-Scale Housing Estates: A Case Study of the Swedish Million Homes Programme, Sustainability, Open Access Journal, MPDI, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.10.2015): <http://www.mdpi.com/2071-1050/1/4/1349>
- [14] Jukkola, E., Suonto, Y., Hagan, H., Pentti, M., Saari, J., Ruuska, J., Osara, L., Heimala, A., Saarni, R., Laakso, K., Mehto, L., Nieminen, J., Pyysalo, M., Kari-mies, M. & von Bonsdorff, P. (1997). *Julkisivujen korjausopas*, Julkisivuyhdistys r.y. Hyvinkää, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.5.2015): <http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/JulkkariOpas/julksivuopas.pdf>.
- [15] Kaivonen, J., Lindberg, R., Pentti, M., Siikanen, U., Valta, M., Pennanen, A., Ruokolainen, A., Toikkanen, A., Saros, T., Heinonen, J., Ripatti, H., Siren, K., Mattila, J., Saarni, R., Hagan, H., Heino, M., Koskela, R. & Rintala, P. (1994). *Rakennusten korjaustekniikka ja talous*, Rakennustieto Oy, Helsinki.
- [16] Kansainvälisen ympäristöpolitiikan yksikkö (2015) *Ilmaston muutos – maailmanlaajuisia politiikkaa ja yhteistyötä*, Suomen ulkoasiainministeriö, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.6.2015): <http://www.formin.fi/public/default.aspx?nodeid=49559>
- [17] Kauppinen, T. (2011). *Rakennusten ilmanpitävyys*, Artikkelit Rakentajain kalenterissa, Rakennustieto Oy, Rakennusmestarit ja Insinöörit AMK RKL ry, Rakennustietosätiö RTS ja Rakennustieto Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.9.2015): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110501.pdf>
- [18] Kouhia I., Nieminen, J. & Pulakka, S. (2010). *Rakennuksen ulkovaipan energia-korjaukset*, Tutkimusraportti KIMU, VTT.

- [19] Kurvinen, A., Heljo, J. & Aaltonen, A. (2012). *Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko*, Lähiöohjelma 2008-2011 Raportti 11, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Tampere.
- [20] KTI & IPD (2012). *Property valuation in the Nordic countries*, KTI Kiinteistö-tieto Oy – Selvitykset ja tutkimusraportit, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.10.2015): http://www.kti.fi/kti/doc/julkaisut/Property_valuation_in_the_Nordic_countries.pdf
- [21] Lahdensivu, J. (2010). *Julkisivujen ja parvekkeiden kestävyys muuttuvassa ilmastossa*, Suomen ympäristö 17/2010, Ympäristöministeriö, Helsinki 2010.
- [22] Lappalainen, M. (2012). *Betonielementtitalon arvokorjaus*, Rakennustieto Oy, Helsinki.
- [23] Motiva (2015). *Mihin energiaa kuluu?*, Koti ja asuminen, Motiva Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.8.2015): http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen
- [24] Neilimo, K., Uusi-Rauva, E. (2005). *Johdon laskentatoimi*, Editra Prima Oy, Helsinki.
- [25] Neuvoston pääsihteeristö *EUCO 169/14, 24.10.2014*, Eurooppaneuvosto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.6.2015): http://www.consilium.europa.eu/ue-docs/cms_data/docs/pressdata/fi/ec/145409.pdf.
- [26] Nieminen, J. (2010). *Eko- ja energiatehokkuus alueiden ja rakennusten uudistamisessa*, Rakennusten ja alueiden uudistaminen ja korjaaminen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 24.6.2015): http://www.vtt.fi/Documents/nieminen_eko_energia-tehokkuus_vtt2010.pdf.
- [27] Nykänen, V., Lahti, P., Knuuti, A., Hasu, E., Staffans, A., Kurvinen, A., Niemi, O., Virta, J. (2013). *Asuntoyhtiöiden uudistava korjaustoiminta ja lisärakentaminen*, VTT Technology 97, Espoo.
- [28] Odin. (2015). *Hugin & Munin Special report 11/2012: Kiinteistösijoittaminen*, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.6.2015): http://odin.fi/op/content/brochures/fi/Special_Report_ODIN_Kiinteistosijoittaminen.pdf
- [29] Pentti, M., Huttunen, I., Vepsäläinen, K. & Olenius, H. (1998). *Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa 3, Korjaushanke*, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere.
- [30] Pentti, M., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Haukijärvi, M. (2002). *Betonijulkisivun kuntotutkimus 2002*, Suomen betoniyhdistys, Helsinki.

- [31] PwC (2012). *Markkinariskipreemio Suomen osakemarkkinoilla*, Tutkimus, PwC, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.9.2015): https://www.pwc.fi/fi/julkaisut/tiedostot/markkinariskipreemio_2012.pdf
- [32] PX-WEB Statfin (2015) *Asuminen, Rakennuskanta*, Tilastokeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.6.2015): <http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/>.
- [33] Ratvio, R. (2012). *Elämää keskustassa ja kupunkiseudun reunoilla*, Akateeminen väitöskirja, Geotieteiden ja maantieteen laitos, Helsingin yliopisto, Helsinki.
- [34] Rouhiainen, V., Mäkelä, J. & Mattila, A. (2013) *Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011*, Tutkimusraportti 26.2.2013, Työ- ja elinkeinoministeriö, Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ja Energiategollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.8.2015): http://www.motiva.fi/files/8300/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_Tutkimusraportti.pdf
- [35] Saari, A., Airaksinen, M., Siren, K., Jokisalo, J., Hasan, A., Nissinen, K., Vainio, T., Möttönen, V., Pulakka, S., Heljo, J., Vihola, J., Vuolle, M., Niemelä, J., Kallioma, P., Kauppinen, J. & Haakana, M. (20.5.2012). *Energiatsehokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten kustannusoptimaalisten tasojen laskenta - Suomi*, Saatavissa (viitattu 3.6.2015): <http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2014/03/FI-Cost-optimal-2013-fi.pdf>.
- [36] Suomen Pankki (2015). *Arvopaperitilasto 2015*, Suomen Pankki, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.8.2015): <http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/arvopaperitilastot/Documents/JVK2013.pdf>
- [37] Taylor, G. (1975). *Managerial and Engineering Economy: Economic Decision-Making*, D. Van Nostrand Company, New York.
- [38] Tuominen, U., Alanen, S. & Sirviö, U. (2000). *Aravakiinteistöjen tilinpäätösopas*, Ympäristöopas 70, Ympäristöministeriö, Helsinki, Saatavissa (viitattu 24.6.2015): https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41089/Ymp%C3%A4rist%C3%B6pas_70.pdf?sequence=1.
- [39] Varjonen, S., Mattila, J., Lahdensivu, J. & Pentti, M. (2006). *Conservation and maintenance of concrete facades : technical possibilities and restrictions*, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- [40] Verohallinto. (2014.) *Kiinteistöverolain soveltamisohje*, Kiinteistöverotus, Syventävät vero-ohjeet, Verohallinto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.7.2015): https://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Kiinteistoverotus/Kiinteistoverolain_soveltamisohje%2837311%29

- [41] Vinha, J. (2014). *Rakennusfysiikka. 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset*, Suomen Rakennusinsinöörien liitto, Helsinki.
- [42] Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, T., O, Koskenvesa, A. & Palolahti, T. (2013). *Ilmastomuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa rakennusten energiankulutuksessa*, Tutkimusraportti 159, Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos., Tampere, .
- [43] Virta, J. & Pylsy, P. (2011). *Taloyhtiön energiakirja*, Kiinteistöalan kustannus, Helsinki.
- [44] Virtanen, T., Tuomaala, M. (2011) *Energiätehokkuuden huomioiminen investoinneissa*, Liiketalouden aikakauskirja, artikkeli, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.9.2015): http://lta.hse.fi/2011/1/lta_2011_01_d5.pdf
- [45] VTT (2013) *Pirkanmaan rakennusbarometri 2013-2014*, VTT, Tampere. Saatavissa (viitattu 11.6.2015): http://www.vtt.fi/Documents/2013_pirabaro_raportti_final.pdf
- [46] Ympäristöministeriö (2007) *Korjausrakentamisen strategia 2007-2017*, Ympäristöministeriön raportteja 28/2007, Asunto- ja rakennusosasto, Ympäristöministeriö, Helsinki. Saatavissa (viitattu 11.6.2015): <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40311>
- [47] Ympäristöministeriö (2009). *Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen*, Työryhmämuistio, Ympäristöministeriö, verkkosivu. Saatavissa (17.8.2015): http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf
- [48] Ympäristöministeriö (2012) *Suomen rakentamismääräyskokoelma*. Saatavissa (viitattu 11.6.2015): http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma
- [49] Ympäristöministeriö (2013) *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä*, Asetus 4/13, Ympäristöministeriö. Saatavissa (viitattu 11.6.2015): http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess%283871%29

- [50] Ympäristöministeriö, (2015). *Energiatohokkuus*, Korjaustieto.fi, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.6.2015): <http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/energiakorjaukset/energiansinkulutus-asuinkerrostalossa/kuinka-energiansinkulutus-jakautuu-asuinkerrostalossa.ht>

LIITE A

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde	Toimenpide	Vaikutus q50-lukuun
Osoite	Tampere	Laastipaikkaus	-1
Laskelman tekijä	Timola	Verhous	-2
Pvm	14.10.2015	Ikkunat	-3
		YP	-2

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968		
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2	4445	Paikkakunnan lämmitystarveluku
Kerrosloku	8		
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövetä		1288	Lämmitysenergian laskettu kulutus ilman lämmintä käyttövetä (MWh/a)
	MWh/a	65	Lämmitysenergian hinta alv 0% (€/MWh)
Kulutusvuosi			

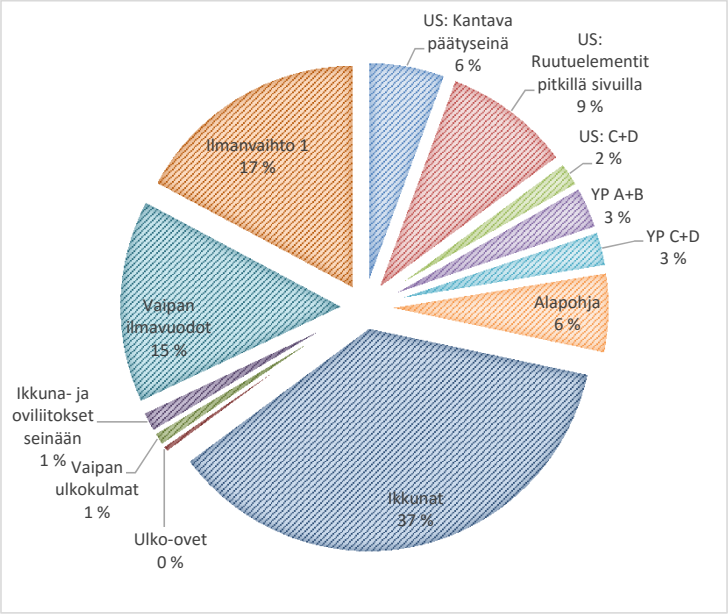
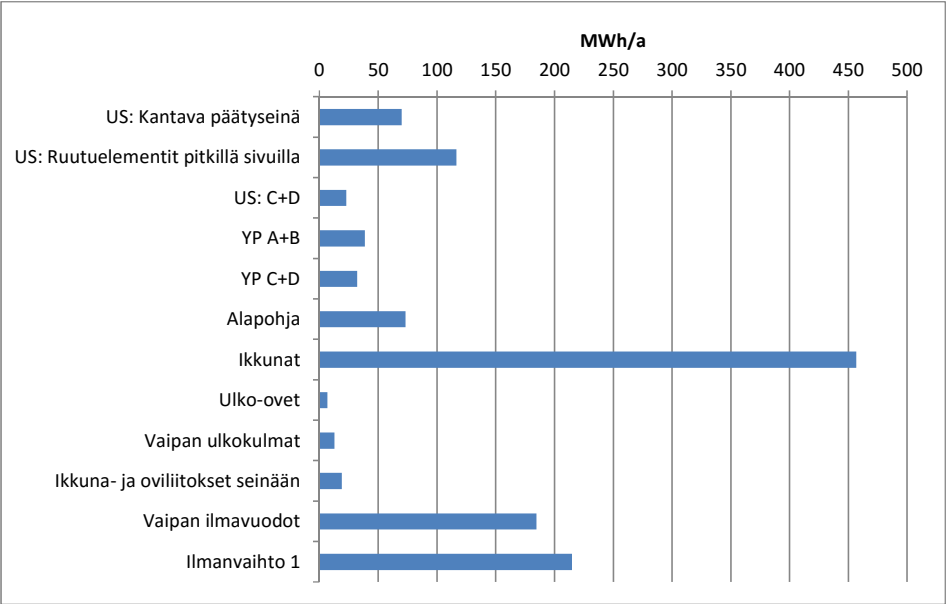
Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergia n kustannus
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,67	657	70	4556
US: Ruutuelementit pitkällä sivuilla	1630,32	0,67	1092	117	7574
US: C+D	320,63	0,67	215	23	1490
YP A+B	885,34	0,41	363	39	2517
YP C+D	735,26	0,41	301	32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	2,7	4283	457	29699
Ulko-ovet	24	2,7	65	7	449
Yhteensä	7799	0,98	7664	818	53141
Kylmäsillat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, Ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	10	1,44	1733	185	12017
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön- talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]	
Ilmanvaihto 1	0,5	2,40	30	215	13975
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			2015	215	13975
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			11714	1250	81 227
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	1,76	MWh/a	€/a

Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	1288 MWh/a
	83739 €/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	1 456	94 622

Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistösähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	420 000	180 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia	219 kWh/a	
E-luku (suunt.)	217 kWh/a	
Määräysten mukainen taso	Ostoenergia < 130 kWh/a	
remontin jälkeen:	E x 0,85 = 184	



LIITE B

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2	4445 Paikkakunnan lämmitystarveluku
Kerrosluk	8	
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövä	MWh/a	65 Lämmitysenergian hinta (€/MWh)
Kulutusvuosi		

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi an kustannus
	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2					
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,36	353	38	2448
US: Ruutuelementit pitkällä sivuilla	1630,32	0,67	1092	117	7574
US: C+D	320,63	0,67	215	# 23	1490
YP A+B	885,34	0,41	363	# 39	2517
YP C+D	735,26	0,41	301	# 32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1,3	2062	220	14300
Ulko-ovet	24	2,7	65	7	449
Yhteensä	7799	0,66	5139	548	35633
Kylmäsilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	5	0,72	867	92	6009
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön-talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]	
Ilmanvaihto	0,5	2,40	30	215	13975
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			2015	215	13975
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			8323	888	57 711
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	1,25	MWh/a	€/a

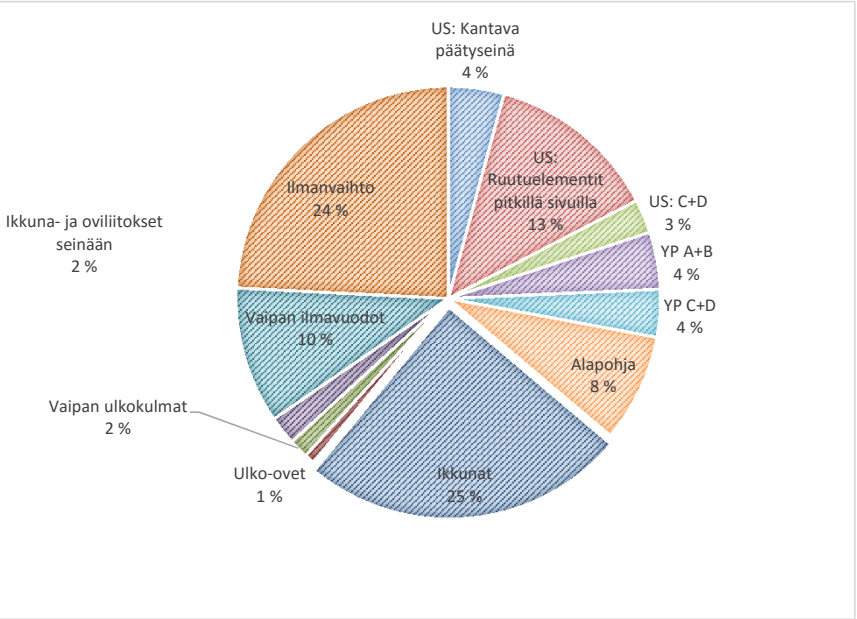
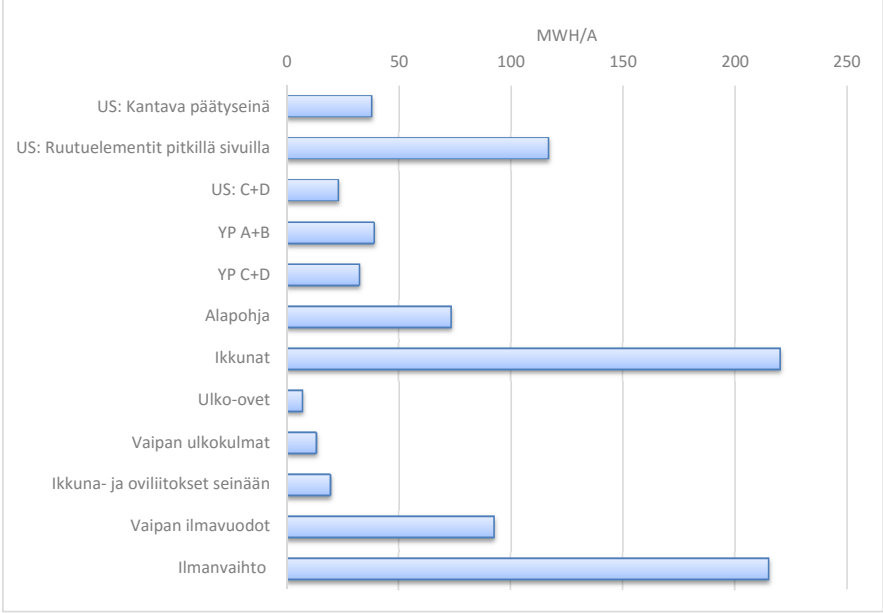
Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	915 59496
	MWh/a €/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	1 083	70 378

Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistösähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	420 000	180 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia	163 kWh/a	
E-luku	177 kWh/a	
Määräysten mukainen taso remontin jälkeen:	Ostoenergia < 130 kWh/a E x 0,85 = 184	

Energiansäästö	26 %
Kustannussäästö	24 244 €



LIITE C

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644	m2
Kerrosluku	8	
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövettä		MWh/a
Kulutusvuosi		65
		Lämmitysenergian hinta (€/MWh)

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi an kustannus
	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2					
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,36	353	38	2448
US: Ruutuelementit pitkillä sivuilla	1630,32	0,36	587	63	4070
US: C+D	320,63	0,67	215	23	1490
YP A+B	885,34	0,41	363	39	2517
YP C+D	735,26	0,41	301	32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1	1586	169	11000
Ulko-ovet	24	1	24	3	166
Yhteensä	7799	0,53	4117	439	28546
Kylmäsilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	4	0,58	693	74	4807
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön- talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]	
Ilmanvaihto	0,5	2,40	30	215	13975
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			2015	215	13975
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			7127	760	49 422
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	1,07	MWh/a	€/a

Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	784
	MWh/a
	50950
	€/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	951	61 833

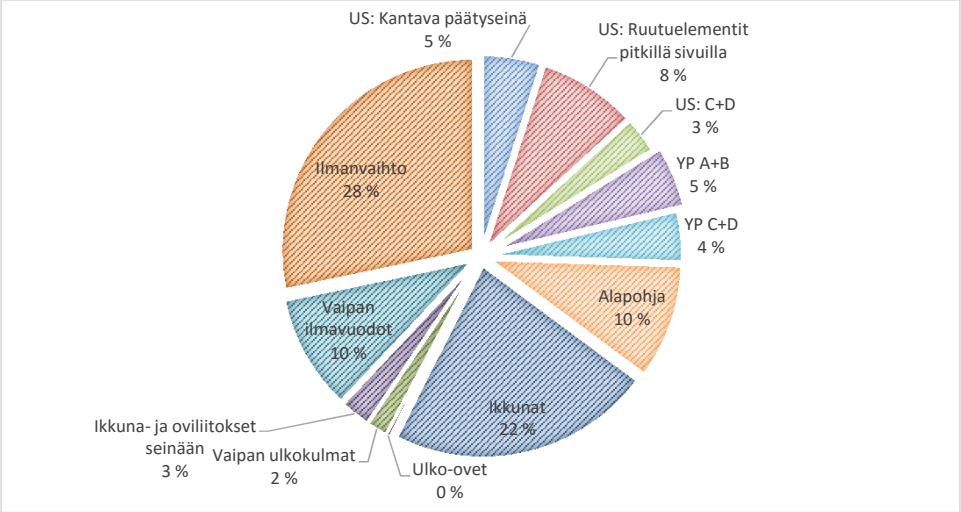
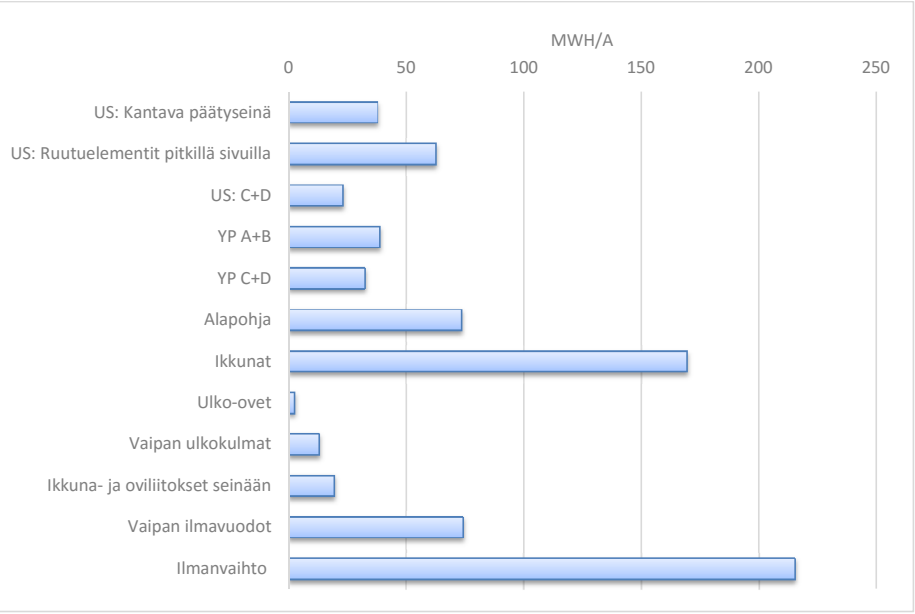
Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistö sähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	420 000	180 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia E-luku	143	kWh/a	
	163	kWh/a	
	Määräysten mukainen taso remontin jälkeen:		
	Ostoenergia < 130 kWh/a		
	E x 0,85 = 184		

Korjaustoimenpiteet:	Lisäeriste
	US 1 50 mm eriste + rappaus
	US 2 50 mm eriste + rappaus
	Ikkunat ja ovet Vaihto U = 1,0 W/m2K
	YP ei mitään
	Lisänä LTO 45 %

4445	Paikkakunnan lämmitystarveluku
------	--------------------------------

65	Lämmitysenergian hinta (€/MWh)
----	--------------------------------



LIITE D

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2
Kerrosluku	8
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövetä	MWh/a
Kulutusvuosi	

Korjaustoimenpiteet:	Perus + US 1 50 mm eriste + rappaus US 2 huoltomaalaus Ikkunat Vaihto U = 1,0 W/m2K YP ei mitään Lisänä LTO 45 %
----------------------	---

4445 Paikkakunnan lämmitystarveluku

65 Lämmitysenergian hinta (€/MWh)

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi an kustannus
	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2					
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,36	353	38	2448
US: Ruutuelementit pitkillä sivuilla	1630,32	0,67	1092	117	7574
US: C+D	320,63	0,67	215	23	1490
YP A+B	885,34	0,41	363	39	2517
YP C+D	735,26	0,41	301	32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1	1586	169	11000
Ulko-ovet	24	1	24	3	166
Yhteensä	7799	0,59	4622	493	32050
Kylmäsilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	5	0,72	867	92	6009
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön-talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]		
Ilmanvaihto 0,5	2,40	45	1583	169	10980
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)	0,00	0	0	0	0
Yhteensä			1583	169	10980
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			7374	787	51 133
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti			W/(K*m2)	1,11	MWh/a

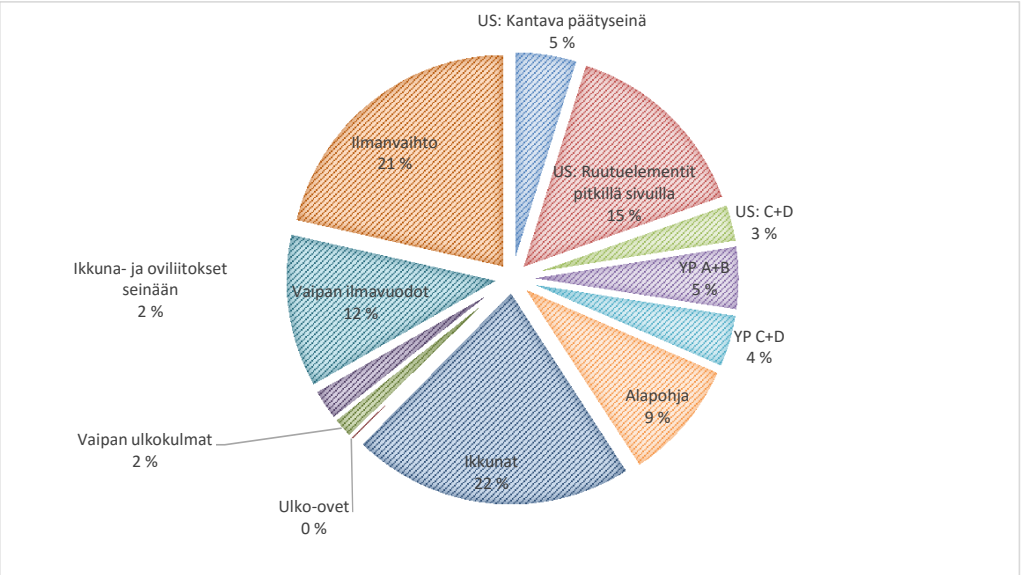
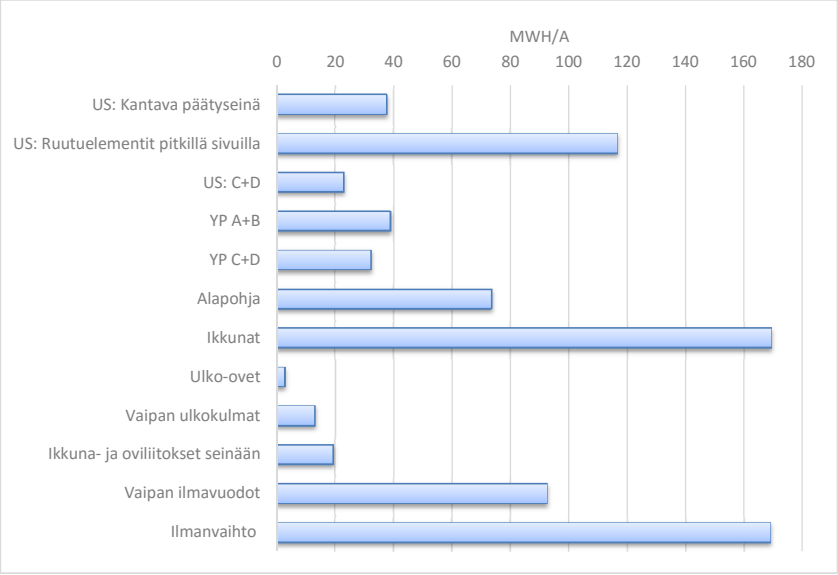
Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	811
	MWh/a
	52715
	€/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
Tarvittava kaukolämpö				978	63 597

Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistösähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	420 000	180 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia	147	kWh/a	
E-luku	166	kWh/a	
Määräysten mukainen taso	Ostoenergia < 130 kWh/a		
remontin jälkeen:	E x 0,85 = 184		

Energiansäästö	33 %
Kustannussäästö	31 025 €
Säästö V1:een	6 781 €



LIITE E

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2
Kerrosluku	8
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövettä	MWh/a
Kulutusvuosi	

Korjaustoimenpiteet:	Perus ++ US 1 50 mm eriste + rappaus US 2 Huoltomaalaus Ikkunat U = 1 YP Uusiminen Lisänä LTO 67 %
----------------------	---

4445	Paikkakunnan lämmitystarveluku
65	Lämmitysenergian hinta (€/MWh)

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi an kustannus
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,36	353	38	2448
US: Ruutuelementit pitkällä sivuilla	1630,32	0,67	1092	117	7574
US: C+D	320,63	0,67	215	23	1490
YP A+B	885,34	0,09	80	9	553
YP C+D	735,26	0,41	301	32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1	1586	169	11000
Ulko-ovet	24	1	24	3	166
Yhteensä	7799	0,56	4339	463	30086
Kylmäsilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, Ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	4	0,58	693	74	4807
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön- talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]		
Ilmanvaihto	0,5	2,40	67	101	6588
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			950	101	6588
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			6284	670	43 575
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	0,95	MWh/a	€/a

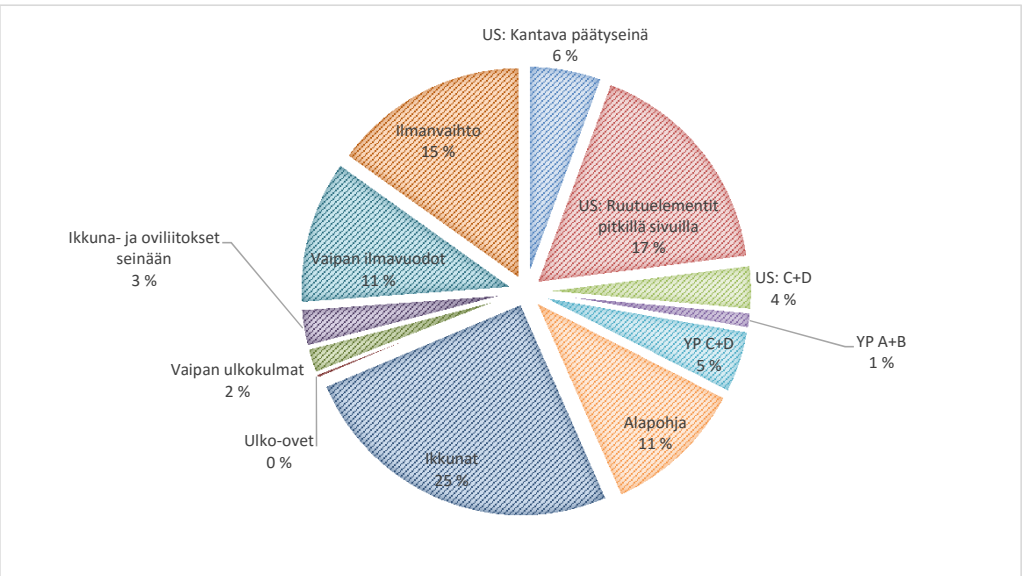
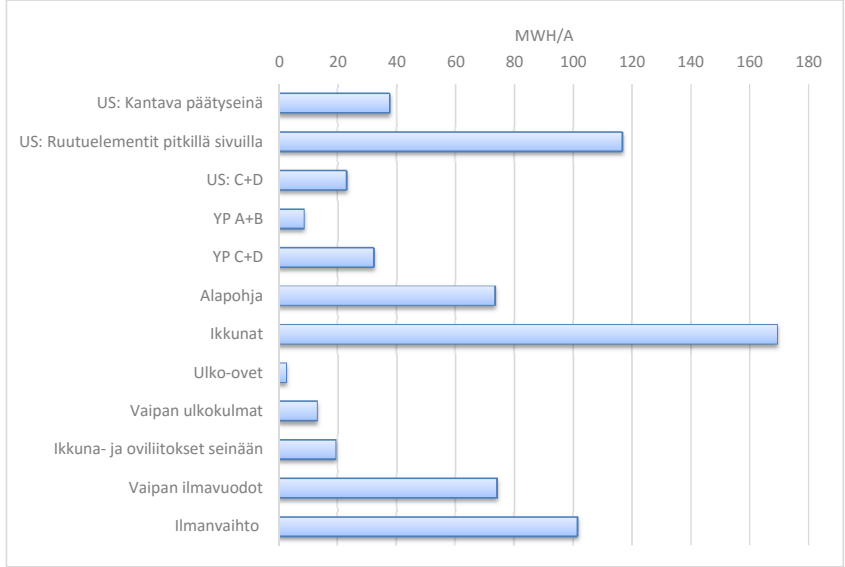
Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	691 MWh/a
	44923 €/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	859	55 805

Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistösähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	420 000	180 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia	129 kWh/a
E-luku	154 kWh/a
Määräysten mukainen taso remontin jälkeen:	Ostoenergia < 130 kWh/a E x 0,85 = 184

Energiansäästö	41 %
Kustannussäästö	38 817 €
Säästö V1:een	14 573 €



LIITE F

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen pää tiedot

Rakennusvuosi	1968	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2	4445 Paikkakunnan lämmitystarveluku
Kerrosluku	8	
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttöväettä	MWh/a	
Kulutusvuosi		65 Lämmitysenergian hinta (€/MWh)

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi- an kustannus
	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2					
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,36	353	38	2448
US: Ruutuelementit pitkillä sivuilla	1630,32	0,36	587	63	4070
US: C+D	320,63	0,67	215	23	1490
YP A+B	885,34	0,09	80	9	553
YP C+D	735,26	0,41	301	32	2090
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1	1586	169	11000
Ulko-ovet	24	1	24	3	166
Yhteensä	7799	0,49	3833	409	26581
Kylmäsiilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	3	0,43	520	55	3605
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön- talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]	
Ilmanvaihto	0,5	2,40	67	101	6588
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			950	101	6588
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			5605	598	38 869
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	0,84	MWh/a	€/a

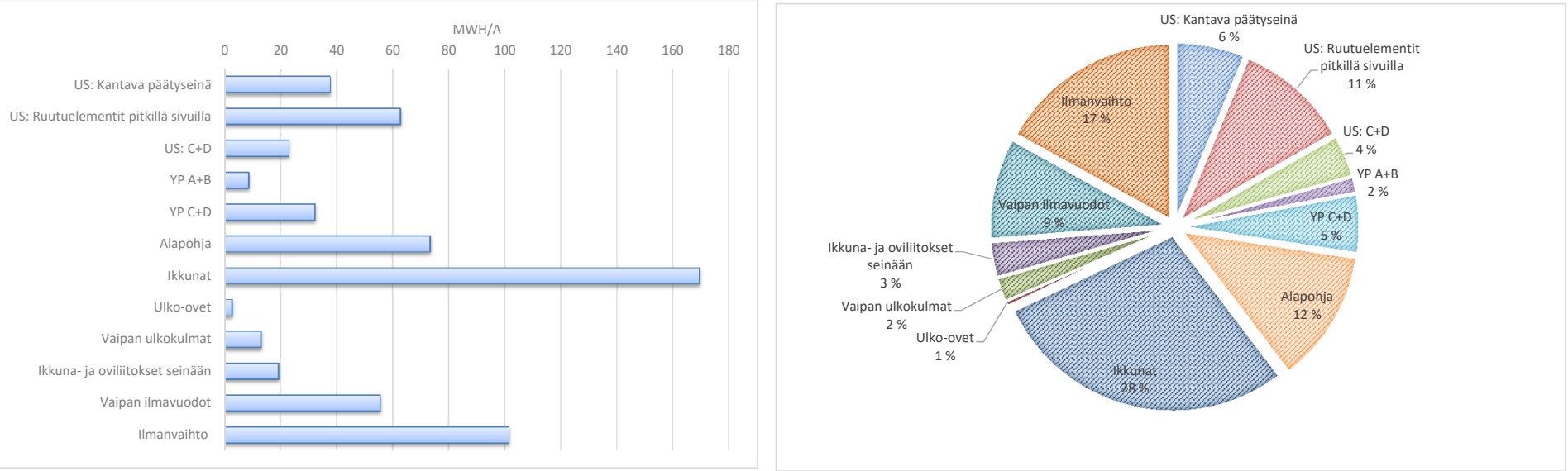
Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	616 MWh/a
	40071 €/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	784	50 953

Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistösähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	150 000	450 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia	118 kWh/a	
E-luku	146 kWh/a	
Määräysten mukainen taso remontin jälkeen:	Ostoenergia < 130 kWh/a E x 0,85 = 184	

Energiansäästö	46 %
Kustannussäästö	43 668 €
Säästö V1:een	19 425 €



LIITE G

Asuinkerrostalon energiankulutusmalli

Kohderakennus	Case-kohde
Osoite	Tampere
Laskelman tekijä	Timola
Pvm	14.10.2015

Rakennuksen päätiedot

Rakennusvuosi	1968	
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	6644 m2	
Kerrosluku	8	4445 Paikkakunnan lämmitystarveluku
Lämmitysenergian kulutus ilman lämmintä käyttövettä		
Kulutusvuosi		65 Lämmitysenergian hinta (€/MWh)

Lämmitettyjen tilojen rakennusosat	Pinta-alat [A]	U-arvot [U]	Ominaislämpöhäviö [A*U]	Lämmitys- energian kulutus	Lämmitysenergi an kustannus
	m2	W/(m2*K)	W/K	MWh/a	€/a
Asuinkerrostalo, rakennusvuosi 1968, seinää 4705 s-m2					
US: Kantava päätyseinä	980,7	0,17	167	18	1156
US: Ruutuelementit pitkillä sivuilla	1630,32	0,17	277	30	1922
US: C+D	320,63	0,17	55	6	378
YP A+B	885,34	0,09	80	9	553
YP C+D	735,26	0,09	66	7	459
Alapohja	1636	0,42	687	73	4765
Ikkunat	1586,31	1	1586	169	11000
Ulko-ovet	24	1	24	3	166
Yhteensä	7799	0,38	2942	314	20398
Kylmäsilat rakennusosien välissä, karkeasti	Pituus, m	Lisäkonduk-tanssi, ψk, W/(m*K)	Ominaislämpöhäviö, W/K		
Vaipan ulkokulmat	320	0,38	122	13	844
Ikkuna- ja oviliitokset seinään	4509	0,04	180	19	1251
Yhteensä			302	32	2094
Vaipan ilmavuodot lämmitetyissä tiloissa	Vuotoluku q50, [m3/(h m2)]	Vuotoilmavirta, qvv=q50/15*(A/3600)	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hvuotoiv=1200*qvv]		
Vaipan ilmavuodot	1	0,14	173	18	1202
Lämmitettyjen tilojen ilmanvaihto	Keski-määräinen ilmanvaihtu- vuus tunnissa, 1/h	Poistoilma-virta, m3/s [qv,p]	Ilmanvaihdon lämmön- talteenoton vuosihyöty-suhde % [ha]	Ominaislämpöhäviö, W/K, [Hiv=1200*qv,p*(1-ha)]	
Ilmanvaihto	0,5	2,40	67	101	6588
Ilmanvaihto 2 (esim. erillispoistot)		0,00	0	0	0
Yhteensä			950	101	6588
Ominaislämpöhäviöt yhteensä			4367	466	30 282
Ominaislämpöhäviö lämmitettyä neliötä kohti		W/(K*m2)	0,66	MWh/a	€/a

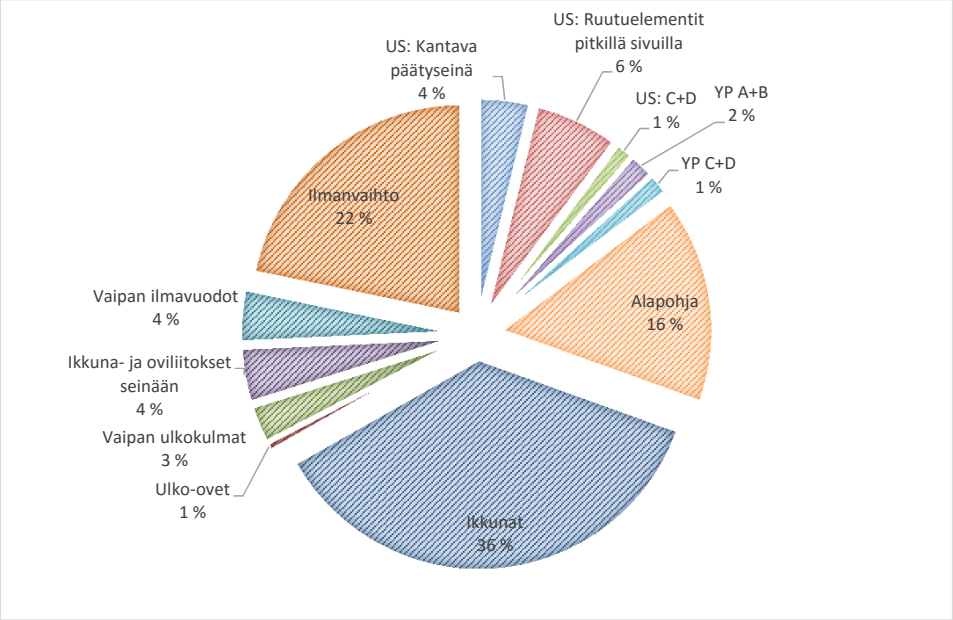
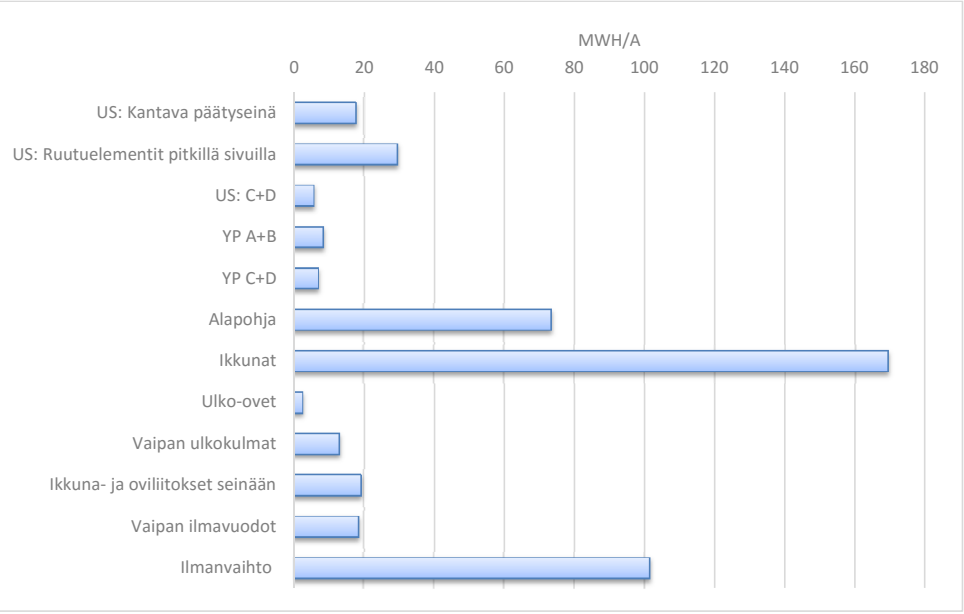
Hyötysuhde	0,97
Tarvittava kaukolämpö	480
MWh/a	31219
	€/a

Käyttöveden lämmittämiseen käytetty energia	Kulutus [m3]	Lämpimän veden osuus [%]	Lämmitykseen kulutettu energia [kWh]	MWh/a	€/a
	7000	40	162400	162	10 556
			Tarvittava kaukolämpö	648	42 101

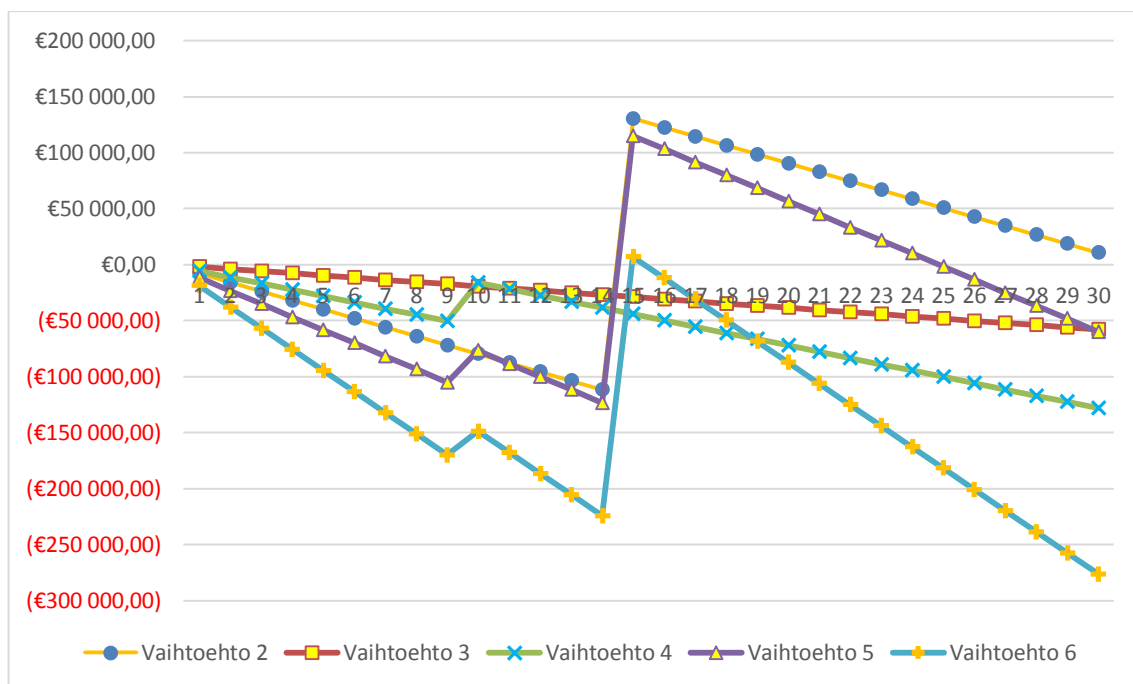
Sähköenergian kulutus	Asukassähkö [kWh]	Kiinteistö sähkö [kWh]	Sähkön kulutus yhteensä [kWh]	MWh/a	€/a
	150 000	450 000	600 000	600	90 000

Ostoenergia E-luku	97 kWh/a	
	131 kWh/a	
	Määräysten mukainen taso remontin jälkeen:	
	Ostoenergia < 130 kWh/a	
	E x 0,85 =	184

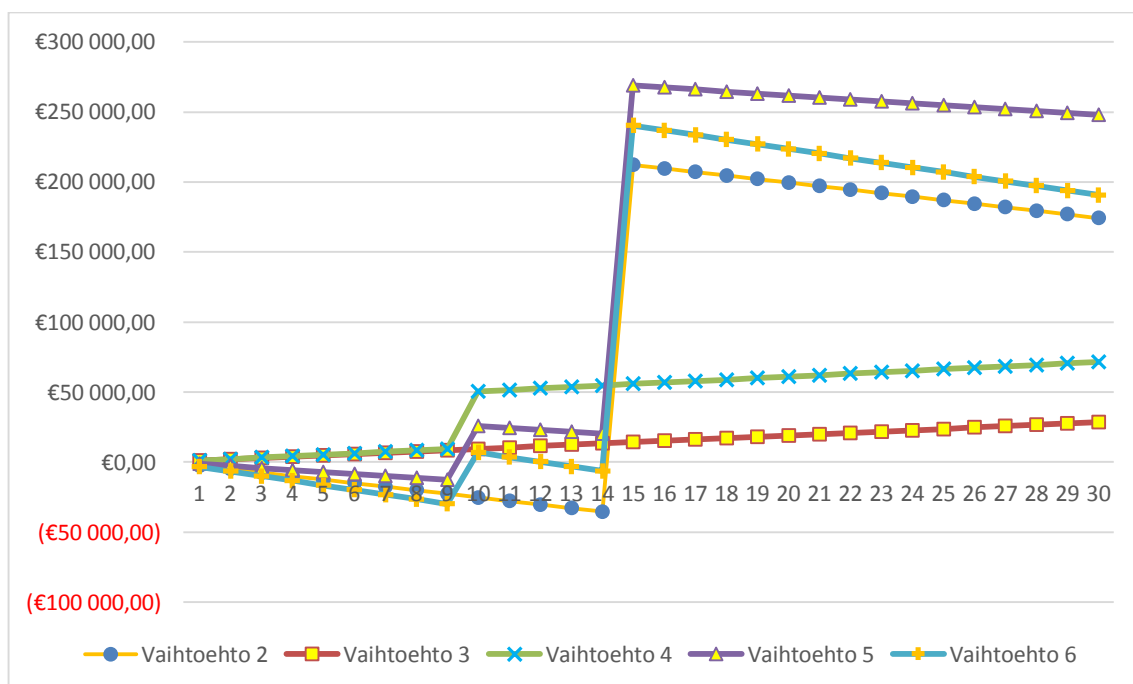
Energiansäästö	56 %
Kustannussäästö	52 521 €
Säästö V1:een	28 277 €



LIITE H



Kuva 12. Vaihtoehtojen kannattavuudet annuiteettimenetelmällä, (4 %, 30 v.)



Kuva 13. Vaihtoehtojen kannattavuudet annuiteettimenetelmällä, (1 %, 30 v.)